Ministère
de l'Économie
et de l'Innovation
Québec

Bureau du sous-ministre

PAR COURRIEL

[redacted]

La présente donne suite à votre demande d'accès à l'information reçue le 13 janvier 2022 pour laquelle vous souhaitez obtenir les documents suivants :

> *« Documents écrits concernant des échanges entre votre ministère et d'autres ministères relativement à la norme nickel, de même qu'avec l'industrie minière ou toute autre entreprise intéressée par la norme nickel, via des courriels, lettres, ententes, avis, rapports ou données détenus par votre ministère. De même que les écrits internes à votre ministère concernant le développement du nickel. »*

Conformément à l'article 47 de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels (chapitre A-2.1), nous vous informons que le ministère de l'Économie et de l'Innovation détient des documents correspondant à votre requête.

Vous trouverez en pièces jointes les documents retracés lors de nos recherches dont la diffusion est autorisée. Prenez note que les renseignements à caractère confidentiel ont été caviardés en vertu des articles 23, 24, 33, 34, 37, 54 et 56 de la Loi sur l'accès.

Après analyse, nous constatons toutefois que certains documents en notre possession, dont des pièces jointes à des courriels, ne sont pas accessibles. Aussi, nous ne divulguerons pas de documents produits pour le ministre de l'Économie et de l'Innovation ou, en définitive, pour les membres du Conseil des ministres ainsi que ceux qui contiennent, en substance, soit des informations financières et commerciales stratégiques appartenant à un tiers, soit des avis, recommandations ou opinions juridiques provenant d'un membre du Ministère ou d'une autre organisation. Enfin, des documents au stade d'ébauche ou de brouillon ne peuvent vous être transmis. Nous appuyons notre décision en application des articles 9, 14, 22 à 24, 31, 33, 34 et 37 de la Loi sur l'accès.

…2

710, place D'Youville, 6e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5656
Télécopieur : 418 646-6497

Par ailleurs, nous notons également que les renseignements de certains documents repérés proviennent ou relèvent de la compétence d'autres organismes publics. Aussi, conformément à l'article 48 de la Loi sur l'accès, nous vous transmettons les coordonnées de leur responsable de l'accès à l'information advenant que vous souhaitiez les consulter :

ÉNERGIE ET RESSOURCES NATURELLES
Diane Barry
Responsable de l'accès aux documents et de la protection des renseignements personnels
5700, 4e Avenue O. #A-301
Québec (QC) G1H 6R1
Tél. : 418 627-6370
bureau.aiprp@mern.gouv.qc.ca

ENVIRONNEMENT ET LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
Chantale Bourgault
Directrice de l'accès à l'information
675, boul. René-Lévesque E., 29e, boîte 13
Québec (QC) G1R 5V7
Tél. : 418 521-3858 #4057
acces@environnement.gouv.qc.ca

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC
Julie Dostaler
Secrétaire générale
945, av. Wolfe, 3e étage
Québec (QC) G1V 5B3
Tél. : 418 650-5115 #5302
Téléc. : 418 646-9328
responsable.acces@inspq.qc.ca

SANTÉ ET SERVICES SOCIAUX
Daniel Desharnais
Sous-ministre adjoint de la coordination et des relations institutionnelles
1075, ch. Sainte-Foy, 3e étage
Québec (QC) G1S 2M1
Tél. : 418 266-8850
Téléc. : 418 266-8855
responsable.acces@msss.gouv.qc.ca

SOCIÉTÉ DU PLAN NORD
Brigitte Boulianne
Directrice générale de l'administration et du
soutien à la gouvernance
900, boul. René-Lévesque Est E. #720
Québec (QC) G1R 2B5
Tél. : 418 643-1874 #66407
Téléc. : 418 643-3660
acces.information@spn.gouv.qc.ca

Si vous désirez contester cette décision, il vous est possible de le faire auprès de la Commission de l'accès à l'information. Vous trouverez, ci-annexée, une note explicative concernant l'exercice de ce recours.

Je vous prie de recevoir, [redacted], l'expression de mes sentiments distingués.

Pierre Bouchard
Responsable de l'accès aux documents

AVIS DE RECOURS

Suite à une décision rendue en vertu de la *Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels.*

RÉVISION

a) Pouvoir

L'article 135 de la loi prévoit qu'une personne, dont la demande écrite a été refusée en tout ou en partie par le responsable de l'accès aux documents ou de la protection des renseignements personnels, peut demander à la Commission d'accès à l'information de réviser cette décision.

La demande de révision doit être faite par écrit; elle peut exposer brièvement les raisons pour lesquelles la décision devrait être révisée (art. 137).

L'adresse de la Commission d'accès à l'information est la suivante :

Québec
525, boulevard René-Lévesque Est, bureau 2.36
Québec (Québec)
G1R 5S9
Téléphone : 418 528-7741
Télécopieur : 418 529-3102

Montréal
500, boulevard René-Lévesque Ouest, bur. 18.200
Montréal (Québec)
H2Z 1W7
Téléphone : 514 873-4016
Télécopieur : 514 844-6170

b) Motifs

Les motifs relatifs à la révision peuvent porter sur la décision, sur le délai de traitement de la demande, sur le mode d'accès à un document ou à un renseignement, sur les frais exigibles ou sur l'application de l'article 9 (notes personnelles inscrites sur un document, esquisses, ébauches, brouillons, notes préparatoires ou autres documents de même nature qui ne sont pas considérés comme des documents d'un organisme public).

c) Délais

Les demandes de révision doivent être adressées à la Commission d'accès à l'information dans les 30 jours suivant la date de la décision ou de l'expiration du délai accordé au responsable pour répondre à une demande (art. 135).

La loi prévoit spécifiquement que la Commission d'accès à l'information peut, pour motif raisonnable, relever le requérant du défaut de respecter le délai de 30 jours (art. 135).

APPEL DEVANT LA COUR DU QUÉBEC

a) Pouvoir

L'article 147 de la loi stipule qu'une personne directement intéressée peut porter la décision de la Commission d'accès à l'information en appel devant trois juges de la Cour provinciale, sur toute question de droit ou de compétence. Cet appel ne peut toutefois être porté qu'avec la permission d'un juge de la Cour provinciale. Ce juge accorde la permission s'il est d'avis qu'il s'agit d'une question qui devrait être examinée en appel.

b) Délais et frais

L'article 149 prévoit que la requête pour permission d'appeler doit être déposée au greffe de la Cour provinciale, à Montréal ou à Québec, dans les 30 jours de la décision, après avis aux parties et à la Commission d'accès à l'information. Les frais de cette demande sont à la discrétion du juge.

c) Procédure

L'appel est formé, selon l'article 150 de la loi, par dépôt auprès de la Commission d'accès à l'information d'un avis à cet effet signifié aux parties dans les 10 jours qui suivent la date de la décision qui l'autorise. Le dépôt de cet avis tient lieu de signification à la Commission d'accès à l'information.

Québec

Entente de confidentialité

Les membres et les intervenants invités des secteurs industriel et environnemental du comité interministériel d'examen de la norme du nickel s'engagent à protéger et à garantir la confidentialité des informations divulguées dans le cadre des travaux du comité interministériel d'examen de la norme du nickel du « Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère ».

Est considéré comme confidentiel :

- ✓ Les documents du travail lors des réunions;
- ✓ Les thématiques et sujets discutés;
- ✓ Tout élément en lien avec le comité interministériel d'examen de la norme du nickel.

Cet engagement prendra fin lorsque les recommandations du gouvernement du Québec seront rendues publiques.

Toute la documentation présentée et transmise par les différentes parties dans le cadre des travaux du comité interministériel demeure la propriété de son auteur et ne peut être utilisée sans son consentement.

J'accepte l'engagement de confidentialité du comité interministériel d'examen de la norme du nickel

Prénom et nom : [redacted]

Signé à : [redacted]

Le : 10 septembre 2018

[redacted]

Québec

Québec, le 2 juin 2017

[redacted]

[redacted]

Nous désirons vous informer que le gouvernement du Québec a décidé de mettre en place un comité interministériel qui sera responsable de l'examen de la norme du nickel faisant partie du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère au Québec.

Ce comité sera coprésidé par le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) et par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Le MESI en assurera la coordination et le secrétariat.

À ce titre, nous joignons à la présente lettre le mandat du Comité d'examen de la norme du nickel, incluant la liste des participants et le calendrier prévisionnel de réalisation du mandat.

Dans ce contexte, une première rencontre du comité aura lieu le 15 juin 2017. Lors de cette rencontre, vous serez invités à présenter la position de votre organisme relativement à la norme en vigueur et à déposer toute documentation que vous jugez utile à la réalisation du mandat du comité.

Pour toute question, nous vous invitons à communiquer avec M. Issam Tantaoui, conseiller à la Direction des produits industriels du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation au 418 691-5698, poste 4952 ou par courriel à l'adresse issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca.

... 2

Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation
710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5969

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, 30e étage
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3860

Veuillez agréer, [redacted], l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation,

[redacted]

MARIO BOUCHARD

Le sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques,

[redacted]

PATRICK BEAUCHESNE

p. j. Mandat du Comité d'examen de la norme du nickel

Ce papier contient 100 % de fibres recyclées, dont 75 % de postconsommation.

Économie, Science et Innovation Québec

Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques Québec

MANDAT DU COMITÉ INTERMINISTÉRIEL D'EXAMEN DE LA NORME DU NICKEL DU « RÈGLEMENT SUR L'ASSAINISSEMENT DE L'ATMOSPHÈRE »

MANDAT DU COMITÉ

- Le mandat du Comité interministériel de la norme du nickel est de :
  - s'assurer que la modification de la norme de nickel en 2013 est basée sur des arguments scientifiques;
  - mandater des consultants-experts indépendants dans les domaines de l'environnement, de l'économie et de la santé publique pour réaliser une analyse comparative de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel à l'échelle mondiale. Ces consultants-experts conseilleraient le comité interministériel sur la stratégie à préconiser, afin que la norme décrétée permette de préserver notamment la santé publique et le développement économique;
  - proposer les modifications à apporter au Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère, le cas échéant.
- La coordination et le secrétariat de ce comité seront assurés par le MESI.

LA COMPOSITION DU COMITÉ INTERMINISTÉRIEL

Gouvernement du Québec

Membres	Personnes accompagnateurs ou remplaçants
Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation Monsieur Mario Bouchard Sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs	M. Richard Masse Directeur Général Direction générale du développement des industries
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques Monsieur Patrick Beauchesne Sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement	M[me] Caroline Boiteau Directrice des avis et des expertises Direction générale du suivi de l'état de l'environnement
Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles Monsieur Robert Keating, p. i. Sous-ministre associé aux Mines	M[me] Renée Garon Directrice générale Direction générale du développement de l'industrie minière
Société du Plan Nord Monsieur Jonathan Gignac Vice-président infrastructures et investissements stratégiques	M. Jean-Luc Bugnon Coordonnateur Infrastructures et Investissements stratégiques
Secrétariat aux affaires autochtones Monsieur Patrick Brunelle Secrétaire adjoint	M. Olivier Bourdages Sylvain, Directeur des négociations et de la consultation, p.i. M. Jean-Philippe Jobin Conseiller à la Direction des négociations et de la consultation
Ministère de la Santé et des Services sociaux Monsieur Horacio Arruda Sous-ministre adjoint à la santé publique	M. Yves Jalbert Directeur général Direction de la protection de la santé publique M. Stéphane Buteau Agent de recherche à l'Institut national de la santé publique du Québec

Intervenants invités aux rencontres plénières du secteur industriel

Mine Raglan (Glencore) [redacted]
Canadian Royalties inc. [redacted]
Association minière du Québec [redacted]
RNC Minerals [redacted]
Sudbury Integrated Nickel Operations (Glencore) [redacted]

Intervenants invités aux rencontres plénières du secteur environnemental

Regroupement national des conseils régionaux en environnement (RNCREQ)	[redacted]
Coalition Pour le Québec ait meilleur mine	[redacted]
Nouveaux intervenants à ajouter, discussions en cours	

CALENDRIER DE TRAVAIL

Le tableau ci-après présente le calendrier prévisionnel de la démarche :

Évènement	Objet de la rencontre	Date prévisionnelle
Réunion n° 1	1. État de situation 2. Positionnement et argumentaire des participants (dépôt de documents à l'appui du positionnement) 3. Présentation du mandat externe qui sera attribué à des consultants-experts dans les domaines de l'environnement, de l'économie et de la santé publique	15 juin 2017
Réunion n° 2	Présentation par les consultants-experts du rapport final	Fin-août 2017
Réunion n° 3	Discussion du comité interministériel sur les livrables	Début septembre 2017
Livrables	Recommandations du comité interministériel au comité des priorités et des projets stratégiques	Fin septembre 2017

Le tableau ci-dessous est le calendrier prévisionnel du mandat des consultants-experts. L'échéancier est sous réserve des disponibilités des consultants-experts :

Évènement	Date prévisionnelle
Préparation du mandat externe (MESI – MDDELCC – MSSS – MERN)	juin 2017
Présentation du mandat au comité interministériel	15 juin 2017
Signature du contrat et début des travaux	juillet 2017
Présentation du rapport préliminaire	août 2017
Présentation du rapport final	Fin-août 2017

Québec

Québec, le 2 juin 2017

Monsieur Horacio Arruda
Sous-ministre adjoint à la santé publique
Ministère de la Santé
et des Services sociaux
1075, chemin Sainte-Foy, 12e étage
Québec (Québec) G1S 2M1

Cher collègue,

Nous désirons vous informer que le gouvernement du Québec a décidé de mettre en place un comité interministériel qui sera responsable de l'examen de la norme du nickel faisant partie du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère au Québec.

Ce comité sera coprésidé par le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) et par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Le MESI en assurera la coordination et le secrétariat.

À ce titre, nous joignons à la présente lettre le mandat du Comité d'examen de la norme du nickel, incluant la liste des participants et le calendrier prévisionnel de réalisation du mandat.

Dans ce contexte, une première rencontre du comité aura lieu le 15 juin 2017. Lors de cette rencontre, vous serez invités à présenter la position de votre organisme relativement à la norme en vigueur et à déposer toute documentation que vous jugez utile à la réalisation du mandat du comité.

Pour toute question, nous vous invitons à communiquer avec M. Issam Tantaoui, conseiller à la Direction des produits industriels du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation au 418 691-5698, poste 4952 ou par courriel à l'adresse issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca.

... 2

Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation
710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5969

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, 30e étage
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3860

Veuillez agréer, cher collègue, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation,

[redacted]

MARIO BOUCHARD

Le sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques,

[redacted]

PATRICK BEAUCHESNE

p. j. Mandat du Comité d'examen de la norme du nickel

Ce papier contient 100 % de fibres recyclées, dont 75 % de postconsommation.

Québec

Québec, le 2 juin 2017

Monsieur Jonathan Gignac
Vice-président infrastructures
et investissements stratégiques
Société du Plan Nord
Bureau 720
900, boulevard René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 2B5

Monsieur le Vice-Président,

Nous désirons vous informer que le gouvernement du Québec a décidé de mettre en place un comité interministériel qui sera responsable de l'examen de la norme du nickel faisant partie du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère au Québec.

Ce comité sera coprésidé par le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) et par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Le MESI en assurera la coordination et le secrétariat.

À ce titre, nous joignons à la présente lettre le mandat du Comité d'examen de la norme du nickel, incluant la liste des participants et le calendrier prévisionnel de réalisation du mandat.

Dans ce contexte, une première rencontre du comité aura lieu le 15 juin 2017. Lors de cette rencontre, vous serez invités à présenter la position de votre organisme relativement à la norme en vigueur et à déposer toute documentation que vous jugez utile à la réalisation du mandat du comité.

Pour toute question, nous vous invitons à communiquer avec M. Issam Tantaoui, conseiller à la Direction des produits industriels du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation au 418 691-5698, poste 4952 ou par courriel à l'adresse issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca.

... 2

Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation
710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5969

Ministère du Développement durable, de
l'Environnement et de la Lutte contre les
changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, 30e étage
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3860

Veuillez agréer, Monsieur le Vice-Président, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation,

[redacted]

MARIO BOUCHARD

Le sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques,

[redacted]

PATRICK BEAUCHESNE

p. j. Mandat du Comité d'examen de la norme du nickel

Ce papier contient 100 % de fibres recyclées, dont 75 % de postconsommation.

Québec

Québec, le 2 juin 2017

Madame Nicole Damestoy
Présidente-directrice générale
Institut national de santé publique du Québec
190, boulevard Crémazie Est
Montréal (Québec) H2P 1E2

Madame la Présidente-Directrice générale,

Nous désirons vous informer que le gouvernement du Québec a décidé de mettre en place un comité interministériel qui sera responsable de l'examen de la norme du nickel faisant partie du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère au Québec.

Ce comité sera coprésidé par le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) et par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Le MESI en assurera la coordination et le secrétariat.

À ce titre, nous joignons à la présente lettre le mandat du Comité d'examen de la norme du nickel, incluant la liste des participants et le calendrier prévisionnel de réalisation du mandat.

Dans ce contexte, l'invitation pour une première rencontre du comité aura lieu l Dans ce contexte, une première rencontre du comité aura lieu le 15 juin 2017. Lors de cette rencontre, vous serez invités à présenter la position de votre organisme relativement à la norme en vigueur et à déposer toute documentation que vous jugez utile à la réalisation du mandat du comité.

Pour toute question, nous vous invitons à communiquer avec M. Issam Tantaoui, conseiller à la Direction des produits industriels du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation au 418 691-5698, poste 4952 ou par courriel à l'adresse issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca.

... 2

Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation
710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5969

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, 30e étage
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3860

Veuillez agréer, Madame la Présidente-Directrice générale, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation,

[redacted]

MARIO BOUCHARD

Le sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques,

[redacted]

PATRICK BEAUCHESNE

p. j. Mandat du Comité d'examen de la norme du nickel

Ce papier contient 100 % de fibres recyclées, dont 75 % de postconsommation.

Québec

Québec, le 2 juin 2017

Monsieur Patrick Brunelle
Secrétaire adjoint
Secrétariat aux affaires autochtones
Ministère du Conseil exécutif
905, avenue Honoré-Mercier, 1er étage
Québec (Québec) G1R 5M6

Cher collègue,

Nous désirons vous informer que le gouvernement du Québec a décidé de mettre en place un comité interministériel qui sera responsable de l'examen de la norme du nickel faisant partie du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère au Québec.

Ce comité sera coprésidé par le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) et par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Le MESI en assurera la coordination et le secrétariat.

À ce titre, nous joignons à la présente lettre le mandat du Comité d'examen de la norme du nickel, incluant la liste des participants et le calendrier prévisionnel de réalisation du mandat.

Dans ce contexte, une première rencontre du comité aura lieu le 15 juin 2017. Lors de cette rencontre, vous serez invités à présenter la position de votre organisme relativement à la norme en vigueur et à déposer toute documentation que vous jugez utile à la réalisation du mandat du comité.

Pour toute question, nous vous invitons à communiquer avec M. Issam Tantaoui, conseiller à la Direction des produits industriels du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation au 418 691-5698, poste 4952 ou par courriel à l'adresse issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca.

... 2

Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation
710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5969

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, 30e étage
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3860

Veuillez agréer, cher collègue, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation,

MARIO BOUCHARD

Le sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques,

PATRICK BEAUCHESNE

p. j. Mandat du Comité d'examen de la norme du nickel

Ce papier contient 100 % de fibres recyclées, dont 75 % de postconsommation.

Québec

Québec, le 2 juin 2017

Monsieur Robert Keating
Sous-ministre associé aux Mines par intérim
Ministère de l'Énergie et
des Ressources naturelles
5700, 4e Avenue Ouest, local A-301
Québec (Québec) G1H 6R1

Monsieur le Sous-Ministre associé,

Nous désirons vous informer que le gouvernement du Québec a décidé de mettre en place un comité interministériel qui sera responsable de l'examen de la norme du nickel faisant partie du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère au Québec.

Ce comité sera coprésidé par le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) et par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Le MESI en assurera la coordination et le secrétariat.

À ce titre, nous joignons à la présente lettre le mandat du Comité d'examen de la norme du nickel, incluant la liste des participants et le calendrier prévisionnel de réalisation du mandat.

Dans ce contexte, une première rencontre du comité aura lieu le 15 juin 2017. Lors de cette rencontre, vous serez invités à présenter la position de votre organisme relativement à la norme en vigueur et à déposer toute documentation que vous jugez utile à la réalisation du mandat du comité.

Pour toute question, nous vous invitons à communiquer avec M. Issam Tantaoui, conseiller à la Direction des produits industriels du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation au 418 691 5698, poste 4952 ou par courriel à l'adresse issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca.

... 2

Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation
710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5969

Ministère du Développement durable, de
l'Environnement et de la Lutte contre les
changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, 30e étage
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3860

Veuillez agréer, Monsieur le Sous-Ministre associé, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs du ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation,

[redacted]

MARIO BOUCHARD

Le sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques,

[redacted]

PATRICK BEAUCHESNE

p. j. Mandat du Comité d'examen de la norme du nickel

Ce papier contient 100 % de fibres recyclées, dont 75 % de postconsommation.

Ministère
de l'Économie,
de la Science
et de l'Innovation
Québec

Industries stratégiques et projets économiques majeurs

Québec, le 7 mars 2018

[redacted]

[redacted],

La présente lettre fait état de la situation des travaux du comité interministériel mis en place par le gouvernement du Québec pour l'examen de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel pour le volet air ambiant.

Nous tenons à vous assurer que les travaux du comité interministériel progressent positivement. Nous avons récemment retenu les services de trois experts indépendants ayant entrepris leurs travaux sur leurs volets respectifs de l'étude et nous sommes sur le point d'en sélectionner un quatrième.

Puisque la démarche actuelle d'examen de la norme du nickel est un nouveau processus n'ayant pas été expérimenté par notre ministère, nous ne pouvons pas évaluer avec certitude le délai dans lequel les travaux du comité interministériel seront terminés. De plus, afin d'assurer un large consensus sur les conclusions du comité interministériel, ce processus a été basé sur une approche de collégialité entre les parties prenantes au comité et sur un examen scientifique de la norme actuelle du nickel.

Par ailleurs, soyez assuré que nous considérons toute l'importance de ce dossier stratégique et que nous mettrons l'énergie nécessaire pour parvenir à une solution répondant aux préoccupations de chacun.

... 2

710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5656
Télécopieur : 418 646-6497

En terminant, nous souhaitons vous informer que les travaux associés au comité interministériel pour l'examen de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel, ainsi que les documents qui en découlent, sont de nature confidentielle et ne doivent pas être partagés à l'externe.

Nous vous prions d'agréer, [redacted] l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs,

[redacted]

Mario Bouchard

c. c. M. Jacob Martin-Malus, sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Ministère
de l'Économie
et de l'Innovation
Québec

Industries stratégiques et projets économiques majeurs

Québec, le 27 février 2019

[redacted]

[redacted]

La présente lettre fait état de la situation de l'avancement des travaux du comité interministériel mis en place par le gouvernement du Québec pour l'examen de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère pour le volet « air ambiant ».

Nous tenons à vous assurer que les travaux du comité progressent. Nous avons récemment obtenu les rapports finaux des quatre experts indépendants ayant été mandatés par le comité pour l'examen de la norme du nickel du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère.

Actuellement, les membres gouvernementaux du comité analysent le contenu des rapports déposés et une rencontre du comité a eu lieu à la fin du mois de février 2019 pour présentation et discussion desdits rapports. Par la suite, et à l'intérieur des semaines qui suivront cette rencontre, le comité programmera une réunion avec les représentants de l'industrie du nickel et les intervenants environnementaux.

Puisque la démarche actuelle d'examen de la norme du nickel est un nouveau processus n'ayant pas été expérimenté antérieurement par notre ministère, nous ne pouvons pas évaluer avec certitude le délai à la suite duquel une décision finale du comité interministériel sera prise.

Par ailleurs, soyez assurée que nous considérons toute l'importance de ce dossier stratégique et que nous mettrons l'énergie nécessaire pour parvenir à une solution répondant aux préoccupations de chacun.

… 2

710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
Téléphone : 418 691-5656
Télécopieur : 418 646-6497

En terminant, nous souhaitons vous informer que les travaux associés au comité interministériel pour l'examen de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel ainsi que les documents qui en découlent sont de nature confidentielle et ne doivent pas être partagés à l'externe.

Je vous prie d'agréer, [redacted], l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs,

[redacted]

Mario Bouchard

c.. c. M. Jacob Martin-Malus, sous-ministre adjoint au développement durable et à la qualité de l'environnement
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

De : Jocelin Dumas
A : Mario Bouchard
Cc : Marie-Claude Lajoie
Objet : Suivi comité des priorités
Date : 5 avril 2017 11:05:02
Pièces jointes : image482ce0.GIF

[redacted]

Norme nickel : OK pour la mise sur pied d'un comité qui serait co-présidé par MDDELCC.

Jocelin Dumas | Sous-ministre
Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation

710, place D'Youville, 6e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5656 - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**

Avis de confidentialité
Ce courriel et toutes pièces attachées transmis sont à usage restreint. Si ce courriel ne vous est pas destiné, veuillez le détruire et en informer l'expéditeur: jocelin.dumas@economie.gouv.qc.ca

De : Marie-Hélène Savard
A : "patrick.beauchesne@mddelcc.gouv.qc.ca"
Cc : Mario Bouchard; Richard Masse; Issam Tantaoui
Objet : TR: Norme Nickel : Compte rendu de la rencontre avec le MDDELCC
Date : 5 mai 2017 17:28:04
Pièces jointes : image4ece49.GIF

Bonjour,

Vous trouverez plus bas les suivis à notre discussion. En particulier à court terme, nous attendons vos suggestions pour les groupes environnementaux afin que nous soyons tous sur la même page avant que des contacts soient établis.

Merci et bon weekend !

Marie-Hélène Savard | Directrice
Direction des produits industriels
418 691-5698, poste **4335**

Avis de confidentialité
Ce courriel et toutes pièces attachées transmis sont à usage restreint. Si ce courriel ne vous est pas destiné, veuillez le détruire et en informer l'expéditeur: marie-helene.savard@economie.gouv.qc.ca

---

De : Issam Tantaoui
Envoyé : 5 mai 2017 17:10
À : Marie-Hélène Savard <Marie-Helene.Savard@economie.gouv.qc.ca>; Audrey Cloutier <Audrey.Cloutier2@economie.gouv.qc.ca>
Objet : Norme Nickel : Compte rendu de la rencontre avec le MDDELCC

Bonjour,

Voici le compte rendu de la rencontre téléphonique tenue avec le MDDELCC aujourd'hui à 15h30.

Était présent

Ministère	Participants
	Monsieur Patrick Beauchesne

MDDELCC	Madame Linda Tapin Madame Caroline Boiteau Madame Marie-Pierre Brault
MESI	Monsieur Richard Masse Madame Marie-Hélène Savard Madame Audrey Cloutier Monsieur Issam Tantaoui

-

Les attentes auprès du MDDELCC

1. Le MDELCC proposera une liste de groupes environnementaux pour le comité interministériel sur la norme de Nickel.

2. Le MDELCC transmettra cette liste de groupes environnementaux au MESI.

3. Approbation (et discussion au besoin) de la liste des groupes environnementaux par le MESI.

4. Le MDDELCC procèdera à des appels téléphoniques auprès des groupes environnementaux. Le MESI procédera à des appels téléphoniques auprès des tous les autres membres du comité.

5. LE MDDELCC transmettra au MESI ses commentaires sur le projet de mandat du comité et sur la lettre d'invitation aux membres qui sera cosignée par les sous ministres adjoints du MDDELCC et du MESI.

6. Le MDELCC transmettra au MESI : un projet de devis pour mandater des consultants externes, en plus d'une liste d'experts qui pourraient être consultés.

Les attentes auprès du MESI

1. Préparation des lettres d'invitation aux membres du comité qui seront cosignées par les sous ministres adjoints du MDDELCC et du MESI.

2. Le MESI convoquera pour une 1ère réunion dans la semaine du 15 mai 2017, les organismes gouvernementaux membres du comité de la norme du nickel. Les industriels et les groupes environnemtaux ne feront pas partis de cette 1ère rencontre.

3. Envoi de suggestions d'experts au MDDELCC.

4. Approbation par le MESI et le MDDELCC de la liste des experts externes qui seront consultés lors de l'appel d'offres.

Bonne journée.

Issam Tantaoui | Conseiller en développement industriel
Direction des produits industriels
Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation

710, place D'Youville, 5e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5698, poste **4952** - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**
Télécopieur : **418 644-0519**

Avis de confidentialité
Ce courriel et toutes pièces attachées transmis sont à usage restreint. Si ce courriel ne vous est pas destiné, veuillez le détruire et en informer l'expéditeur: issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca

De : Issam Tantaoui
A : "linda.tapin@mddelcc.gouv.qc.ca"; "renee.garon@mern.gouv.qc.ca"; "jean-luc.bugnon@spn.gouv.qc.ca"; "jean-philippe.jobin@mce.gouv.qc.ca"; "yves.jalbert@msss.gouv.qc.ca"
Cc : "patrick.beauchesne@mddelcc.gouv.qc.ca"; Mario Bouchard; Richard Masse; "robert.keating@mern.gouv.qc.ca"; "Jonathan.Gignac@spn.gouv.qc.ca"; Marie-Hélène Savard; Audrey Cloutier; "horacio.arruda@msss.gouv.qc.ca"
Objet : Norme Nickel : Suivi des actions
Date : 19 mai 2017 14:31:27
Pièces jointes : image56118c.GIF

Bonjour,

Vous trouvez ci-dessous la liste des points de suivi pour la rencontre qui a été tenue le 18 mai 2017 :

Responsable du Suivi	Actions	Délai
MDDELCC	Transmettre au MESI la liste des experts scientifiques qui peuvent être consultés dans le cadre du mandat externe	Si possible le 23 mai 2017
	Transmettre au MESI le devis pour le mandat du consultant externe	Si possible le 23 mai 2017
	Transmettre au MESI la liste des groupes environnementaux qui peuvent siégés au comité	Si possible le 23 mai 2017
	Transmettre au MESI les lettres d'invitation qui doivent être cosignées par les sous ministres adjoints du MESI et du MDDELCC	Si possible avant le 24 mai 2017
	Transmettre au MESI les coordonnées des directeurs et des professionnels de votre organisme qui seront les points de contact pour le comité de révision de la norme du nickel	Si possible avant le 24 mai 2017
MSSS	Transmettre au MESI la liste des experts scientifiques qui peuvent être consultés dans le cadre du mandat externe	Si possible le 23 mai 2017
	MSSS est invité à transmettre au MESI le contact à l'INSPQ qui pourrait être invité à la 1ère rencontre du comité	Si possible le 23 mai 2017
	Transmettre au MESI les coordonnées des directeurs et des professionnels de	Si possible avant le 24

	votre organisme qui vont être les points de contact pour le comité de révision de la norme du nickel	mai 2017
MERN	Transmettre au MESI la liste des experts scientifiques qui peuvent être consultés dans le cadre du mandat externe	Si possible le 23 mai 2017
	Transmettre au MESI les coordonnées des directeurs et des professionnels de votre organisme qui vont être les points de contact pour le comité de révision de la norme du nickel	Si possible avant le 24 mai 2017
La Société du Plan Nord	Transmettre au MESI les coordonnées des directeurs et des professionnels de votre organisme qui vont être les points de contact pour le comité de révision de la norme du nickel	Si possible avant le 24 mai 2017
Secrétariat aux affaires autochtones	Transmettre au MESI les coordonnées des directeurs et des professionnels de votre organisme qui vont être les points de contact pour le comité de révision de la norme du nickel	Si possible avant le 24 mai 2017
MESI	Transmettre pour avis aux membres du comité un projet de ligne de presse	23 mai 2017
	Transmettre les convocations pour la 1ère rencontre du comité	Courant le semaine du 23 mai 2017
	Tenir une conférence téléphonique avec MDDELCC, MERN et MSSS pour discuter du devis pour le consultant externe	Courant la semaine du 23 mai 2017
	Inviter l'INSPQ à la 1ère rencontre du comité	Courant la semaine du 23 mai 2017

Vous pouvez SVP transmettre l'ensemble des documents à l'adresse courriel :
issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca

Merci et bonne journée.

Issam Tantaoui | Conseiller en développement industriel
Direction des produits industriels
Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation

710, place D'Youville, 5e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5698, poste **4952** - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**
Télécopieur : **418 644-0519**

Avis de confidentialité
Ce courriel et toutes pièces attachées transmis sont à usage restreint. Si ce courriel ne vous est pas destiné, veuillez le détruire et en informer l'expéditeur: issam.tantaoui@economie.gouv.qc.ca

De : [redacted]
A : Mario Bouchard
Cc : [redacted]
Objet : RE: Norme Nickel - Ordre du Jour et demande de transmission de documents au MESI
Date : 14 juin 2017 18:19:40
Pièces jointes : image001.gif
image002.jpg
image003.jpg
image004.jpg
image005.png
image006.png
image007.jpg

Merci Mario,

[redacted]

Nous n'avons pas de présentation Power Point pour demain, mais seulement des préoccupations et des recommandations préliminaires que nous émettrons sur place.

Nous pourrons vous acheminer une lettre formelle suite à la rencontre de demain, au besoin.

Salutations,

[redacted]

De : Marie-Josée Nolin [mailto:Marie-Josee.Nolin@economie.gouv.qc.ca] **De la part de** Mario Bouchard
Envoyé : 12 juin 2017 14:42
À : [redacted]
Cc : 'Patrick.Beauchesne@mddelcc.gouv.qc.ca' <Patrick.Beauchesne@mddelcc.gouv.qc.ca>; 'caroline.boiteau@mddelcc.gouv.qc.ca' <caroline.boiteau@mddelcc.gouv.qc.ca>; Richard Masse <Richard.Masse@economie.gouv.qc.ca>; Marie-Hélène Savard <Marie-Helene.Savard@economie.gouv.qc.ca>; Issam Tantaoui <Issam.Tantaoui@economie.gouv.qc.ca>
Objet : Norme Nickel - Ordre du Jour et demande de transmission de documents au MESI

Bonjour,

Je vous ai transmis le 5 juin 2017 des lettres de convocations pour une première rencontre du comité interministériel pour l'examen de la norme du nickel, prévue le 15 juin 2017 de 09h00 à 12h00.

Dans ce contexte, vous trouvez ci-joint [redacted]. Comme vous pouvez le constater, des présentations seront planifiées par des membres du comité interministériel.

Aussi, nous vous invitons à nous transmettre les présentations que vous souhaiteriez exposer au comité.

À noter que le contenu de vos présentations sera remis aussi à des consultants-experts indépendants qui seront mandatés par le comité interministériel.

Si vous avez des questions, je vous invite à communiquer avec Mme Marie-Hélène Savard, directrice des produits industriels, au 418 691-5698, poste 4335 ou par courriel à l'adresse suivante : marie-helene.savard@economie.gouv.qc.ca.

Je vous invites aussi à transmettre vos présentations, si possible avant mercredi 14 juin 2017, à l'adresse courriel : marie-

helene.savard@economie.gouv.qc.ca

Bonne journée.

Mario Bouchard | Sous-ministre adjoint
Bureau du sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs
Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation

710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5698, poste **5969** - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**

Avis de confidentialité
Ce courriel et toutes pièces attachées transmis sont à usage restreint. Si ce courriel ne vous est pas destiné, veuillez le détruire et en informer l'expéditeur: mario.bouchard@economie.gouv.qc.ca

De : Marie-Josée Nolin pour le compte de Mario Bouchard
A : [redacted]
Cc : Richard Masse; Martin Aubé; Gabriel Audet; Issam Tantaoui
Objet : Dossier nickel
Date : 7 mars 2019 10:53:24
Pièces jointes : imagebd99a0.GIF

Bonjour,

Tel que convenu, voici un état de situation concernant le comité interministériel sur la norme nickel.

Les travaux du comité interministériel mis en place par le gouvernement du Québec pour l'examen de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) pour le volet air ambiant progressent bien. En effet, les rapports finaux des quatre experts indépendants, ayant été mandatés par le comité pour l'examen de la norme du nickel, ont été finalisés et le comité en a obtenu des copies.

Les experts vont présenter au comité interministériel, aux représentants de l'industrie du nickel et aux intervenants environnementaux les conclusions des rapports lors d'une rencontre prévue le 27 mars 2019 à nos bureaux de Québec. À cet effet, une invitation Outlook, que vous avez d'ailleurs accepté, vous a déjà été transmise.

Aussi, je vous transmets ci-dessous un tableau prévisionnel des prochaines étapes. Il est à noter que la démarche actuelle d'examen de la norme du nickel est un nouveau processus n'ayant pas été expérimenté antérieurement par le MEI. Par conséquent, nous ne pouvons pas évaluer avec certitude le délai pour lequel une décision finale du comité interministériel sera prise.

Événements	Responsables	Échéanciers	Commentaires
Présentation des conclusions des rapports aux invités des secteurs industriel et environnemental.	MEI et MELCC	27 mars 2019	La présentation sera effectuée par les quatre experts indépendants.
Formulation des recommandations du comité interministériel.	MEI et MELCC	à venir	Présentées pour consultation aux membres du comité.
Présentation des recommandations au Conseil des ministres pour décision.	MEI et MELCC	à venir	Présentées par le MEI et le MELCC.

Je demeure disponible pour toute question sur ce dossier.

Meilleures salutations,

Mario Bouchard | Sous-ministre adjoint

Bureau du sous-ministre adjoint aux industries stratégiques et aux projets économiques majeurs
Ministère de l'Économie et de l'Innovation

710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5698, poste **5969** - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**

Avis de confidentialité
Ce courriel et toutes pièces attachées transmis sont à usage restreint. Si ce courriel ne vous est pas destiné, veuillez le détruire et en informer l'expéditeur: mario.bouchard@economie.gouv.qc.ca

De : Gabriel Audet
A : Jonathan Gignac; Raymond Jeudi; Danielle Pépin
Objet : Norme nickel
Date : 26 juin 2021 07:49:22

---

https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1804624/pollution-nickel-projet-gouvernement-legault-sol-zanetti?fromApp=appInfoIos&partageApp=appInfoiOS&accesVia=partage&fbclid=IwAR2WSKB8vK8YC-iDAimaE_10MZc3dc7f9ee99m0crECv8KD9ZKFpjq03-ps

Téléchargez Outlook pour iOS

De : Meghan Houle
A : Gabriel Audet; Pascal Brière; Danielle Pépin
Cc : SG-communication; Chantale Rhéaume
Objet : Normes sur le nickel
Date : 28 septembre 2021 08:27:54

PVI.

SRC Québec, David Rémillard : Norme sur le nickel : le ministre Charette sommé de faire marche arrière
Des conseils de quartier de la capitale dénoncent l'intention du gouvernement Legault d'augmenter de cinq fois la limite quotidienne d'émanations de nickel permises dans l'air. Ils critiquent un manque de transparence dans le processus décisionnel et le peu de considération pour les populations voisines du port de Québec, déjà soumises à des contaminants. […]
https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1827365/norme-nickel-revision-emissions-quebec-environnement-benoit-charette

---

Meghan Houle | Rédactrice et conseillère en logistique événementielle
Service des affaires publiques et des communications numériques
Ministère de l'Économie et de l'Innovation

710, place D'Youville, 3e étage, bureau 3.30
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5698, poste **4723** - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**

De : Issam Tantaoui
A : Gabriel Audet
Objet : Norme Nickel
Date : 7 octobre 2021 18:00:30

Bonjour Gabriel,

- Selon la bibliographie, le règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) n'existait pas avant 2011. Le RAA est entré en vigueur le 30 juin 2011 pour remplacer le règlement sur la qualité de l'atmosphère (RQA).
- Le RAA adopté en juin 2011 mentionnait une valeur de la norme du nickel de 12 ng/m^3 sur une année et de 6 µg/m^3 sur 1 h (1 µg = 1000ng). Je n'ai pas trouvé de valeur pour la norme du nickel pour les années avant 2011.
- En décembre 2013, la norme québécoise de 2011 a été remplacée par une norme de 14 ng/m3 journalière.

De : Demandes ISPEM
A : Jonathan Gignac
Cc : Véronique Lehérissey
Objet : Pour indications // TR: URGENT Norme nickel
Date : 6 décembre 2021 09:01:25
Pièces jointes : [redacted]
Université de Montréal_Rapport Final_Norme_Nickel_Décembre 2018.pdf
Université_Montréal_Présentation Finale_Norme Nickel_27 Mars 2019.pptx
Université de Montréal_Sommaire exécutif Final_Norme_Nickel_Décembre 2018.pdf
[redacted]
Importance : Haute

Bonjour M. Gignac,

Le SG nous a fait la demande pour M. Bahan afin d'obtenir de la documentation vis-à-vis la norme Nickel. Nous pensions transmettre la documentation ci-jointe.

[redacted]

Merci de la précision et bonne journée de tempête!

Élie Jobin-Cossette | Demandes ISPEM
Direction de la coordination
Ministère de l'Économie et de l'Innovation

De : Marianne Bard <Marianne.Bard@economie.gouv.qc.ca>
Envoyé : 6 décembre 2021 08:52
À : Demandes ISPEM <demandes.ispem@economie.gouv.qc.ca>
Cc : Danielle Pépin <Danielle.Pepin@economie.gouv.qc.ca>; Issam Tantaoui <Issam.Tantaoui@economie.gouv.qc.ca>; Gabriel Audet <Gabriel.Audet@economie.gouv.qc.ca>
Objet : TR: URGENT Norme nickel
Importance : Haute

Bonjour,

Voici les documents demandés.

Merci,

Marianne Bard | Agente de secrétariat

Direction des projets industriels
Ministère de l'Économie et de l'Innovation
710, place D'Youville, 5e étage, bureau 574
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5698, poste **4093** - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**

De : Issam Tantaoui <Issam.Tantaoui@economie.gouv.qc.ca>
Envoyé : 6 décembre 2021 08:48
À : Danielle Pépin <Danielle.Pepin@economie.gouv.qc.ca>; Gabriel Audet <Gabriel.Audet@economie.gouv.qc.ca>
Cc : Marianne Bard <Marianne.Bard@economie.gouv.qc.ca>
Objet : TR: URGENT Norme nickel
Importance : Haute

Bonjour,

- Le communiqué du MLELCC du 30 mars 2021 de cette année : https://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communique.asp?no=4502
- [redacted]

[redacted]

De : Demandes ISPEM <demandes.ispem@economie.gouv.qc.ca>
Envoyé : 6 décembre 2021 08:31
À : Gabriel Audet <Gabriel.Audet@economie.gouv.qc.ca>
Cc : Lucie Simard <Lucie.Simard@economie.gouv.qc.ca>; Marianne Bard <Marianne.Bard@economie.gouv.qc.ca>; Martin Aubé <Martin.Aube@economie.gouv.qc.ca>; Raymond Jeudi <Raymond.Jeudi@economie.gouv.qc.ca>; Thomas Bilodeau Genest <Thomas.BilodeauGenest@economie.gouv.qc.ca>
Objet : TR: URGENT Norme nickel
Importance : Haute

Bonjour,

Le SG nous sollicite suite à la demande de M. Bahan concernant le dossier de la norme Nickel.

Serait-ce possible de fournir les deux livrables ci-dessous svp;

1. Une copie du communiqué de l'an dernier qui disait qu'on allait changer la norme [redacted].

Échéance : 6 décembre 10h, svp

Merci et bonne semaine!

Élie Jobin-Cossette | Demandes ISPEM

Direction de la coordination
Ministère de l'Économie et de l'Innovation

De : Laurie Comtois <Laurie.Comtois@economie.gouv.qc.ca>
Envoyé : 6 décembre 2021 07:50
À : Demandes ISPEM <demandes.ispem@economie.gouv.qc.ca>
Cc : Secrétariat Général <secretariat.general@economie.gouv.qc.ca>
Objet : URGENT Norme nickel
Importance : Haute

Bonjour,

[redacted]

1. Une copie du communiqué de l'an dernier qui disait qu'on allait changer la norme [redacted]

Retour rapide ce matin svp.

Laurie Comtois | Conseillère stratégique
Bureau du sous-ministre et Secrétariat général
Ministère de l'Économie et de l'Innovation

710, place D'Youville, 6e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5656, poste **4966** - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**

De : Jean-Pierre D"Auteuil
A : Gabriel Audet; Danielle Pépin; Issam Tantaoui
Cc : Chantale Rhéaume; Terry McKinnon; Meghan Houle; Felicia Nicole
Objet : Nickel
Date : 17 décembre 2021 08:40:57

PVI

SRC, David Rémillard : Norme sur le nickel : le gouvernement permettra cinq fois plus d'émissions
Malgré les craintes citoyennes et les pressions politiques des oppositions, le gouvernement du Québec adopte un règlement visant à augmenter de cinq fois la limite quotidienne d'émissions de particules de nickel dans l'air ambiant. [...]
https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1848190/feu-vert-allegement-norme-nickel-particules-air-quebec

---

Jean-Pierre D'Auteuil | Responsable des relations médias
Service des affaires publiques et des communications numériques
Ministère de l'Économie et de l'Innovation

710, place D'Youville, 3e étage, bureau 3.03
Québec (Québec) G1R 4Y4
418 691-5698, poste **4868** - **1 866 680-1884** - **www.economie.gouv.qc.ca**

Rapport comparatif des réglementations applicables à la pollution de l'air ambiant par le nickel dans différentes régions du monde

Me Sophie Lavallée, professeure titulaire, Faculté de droit, Université Laval*

---

1. Introduction et rappel du mandat 5
2. Résumé exécutif et recommandations 6
2.1 Résumé des normes applicables dans les différentes juridictions 6
2.1.1 Québec 6
2.1.2 International 7
2.1.3 Europe 8
2.1.4 France 9
2.1.5 Nouvelle-Calédonie 10
2.1.6 Norvège 10
2.1.7 Californie 11
2.1.8 Australie 13
2.1.9 Ontario 15
2.2 Constats et recommandations 16
2.2.1 Constats 16
2.2.2 Recommandations 18
2.2.2.1 L'approche californienne pour élaborer la norme est d'intérêt mais non la ligne directrice qui en résulte 18
2.2.2.2 Le choix d'une norme générale sur le nickel pour le Québec 19
A) Le choix d'une norme générale sur le nickel au Québec dépend de plusieurs variables 19
B) Cette norme pourrait s'aligner celle choisie dans les 28 pays de l'Union européenne 20
C) Le choix d'une «valeur cible» ou d'une «valeur limite» et la notion de marge de dépassement 22
i) Comment apprécie-t-on la marge de dépassement d'une «valeur limite» en droit européen 22
ii) Comment apprécie-t-on la valeur-cible et sa marge de dépassement inhérente en droit européen 23
2.2.2.3 Recommandations pour la modification de la norme sur le nickel dans l'air ambiant au Québec 24
3. Les normes internationales 25
3.1 L'absence d'une norme légale internationale 26
3.2 L'existence d'une valeur guide scientifique de l'OMS, sans force obligatoire 28

---

* L'auteure remercie le professeur Jean-Maurice Arbour et les étudiants Charles Breton Demeule et Dany Desrosiers de la Faculté de droit de l'Université Laval, qui ont contribué à la revue de la littérature et l'analyse qui ont été nécessaires à la rédaction du présent rapport. Les opinions émises dans ce rapport n'engage toutefois que leur auteure.

4. Le Québec 30
4.1 La norme nickel pour l'air ambiant (norme RAA) 30
4.1.1 Contexte général 31
4.1.1.1 Valeurs limites et normes de qualité de l'atmosphère 34
A) La concentration initiale 36
B) La norme montréalaise 37
4.2 La norme nickel dans le temps 40
4.2.1 Le critère de 2002 41
4.2.2 La norme de 2011 42
4.2.3 La norme de 2013 43
4.2.4 Appréciation critique préliminaire 43
4.3 Mesures de mitigation ou d'atténuation 46
4.3.1 Généralités 46
4.3.2 Projets miniers sur des terres publiques 47
4.4 Les mesures de surveillance et de contrôle 48
4.4.1 Les mesures de suivi environnemental 49
4.4.2 Les mesures de contrôle 49
4.5 Les sanctions administratives et pénales 53
5. Ontario 60
5.1 Norme générale – Règlement 419/05 60
5.1.1 Contaminant 60
5.1.1.1 Nom et no du contaminant 60
5.1.1.2 Norme en µg/m3 61
5.1.1.3 Prise en compte de la concentration naturelle initiale du nickel 61
5.1.1.4 Périodicité : journalière ou annuelle 61
5.1.1.5 Moyen de la calculer (PM 10 ou en PST(SP)) 61
5.2 Mesures de mitigation/ de minimisation des impacts 61
5.3 Mesures de suivi de la qualité de l'air ambiant 62
5.3.1 Échantillonnage (périodicité de l'échantillonnage) 62
5.3.2 Reporting/rapport 62
5.3.3 Les analyses menées (expert accrédité/labo accrédité) 65
5.4 Monitoring des émissions atmosphériques (sources ponctuelles, cheminées) 65
5.4.1 Échantillonnage 66
5.4.2 Rapport : les exigences de produire un rapport et le contenu du rapport 67
5.4.4 Exigences par rapport à un projet d'expansion, de construction ou modification d'une source de contamination si le projet augmente la concentration dans l'air ambiant d'un paramètre pour lequel une valeur limite est déjà dépassée (art 197 RAA) 68
5.5 Comment faire une demande pour un « Site-Specific Standard » 68
5.5.1 Qui peut faire une demande de SSS 68
5.5.2 Les informations exigées pour une demande de SSS 70
5.5.2.1 Les informations exigés avant la demande 70
5.5.2.2 Les informations exigées en même temps que la demande 71
5.5.2.3 Les effets d'une telle norme 72
5.5.2.4 Les limites d'une telle norme 72
5.6 SSS de Glencore 76
5.6.1 Contaminant 76

5.6.1.1 Nom et numéro du contaminant 76
5.6.1.2 Prise en compte de la concentration initiale du nickel 76
5.6.1.3 Périodicité 76
5.6.1.4 Moyen de calculer 76
5.6.1.5 Valeurs limites 77
5.7 Mesure de mitigation et atténuation des impacts 78
5.7.1 Zone tampon en fonction de la distance et de la densité de population 78
5.7.2 Exigences suggérées ou obligatoires 78
5.8 SSS de Vale 79
5.8.1 Contaminant 79
5.8.1.1 Nom et numéro du contaminant 79
5.8.1.2 Prise en compte de la concentration initiale du nickel 79
5.8.1.3 Périodicité 79
5.8.1.4 Moyen de calculer 79
5.8.1.5 Valeurs limites 80
5.8.1.6 Mesures de confinement et gestions des poussières 80
5.8.1.7 Mesures de suivi de la qualité de l'air ambiant 82
5.9 Norme technique sectorielle 84
5.9.1 Contaminant 85
5.10 Mesures de mitigation/ de minimisation des impacts 85
5.11 Mesures de suivi de la qualité de l'air ambiant 88
5.11.1 Monitoring des émissions atmosphériques (sources ponctuelles, cheminées) 88
5.11.1.1 Échantillonnage 88
5.11.1.2 Périodicité : annuel ? aux 3 ans? «à la suite d'une campagne d'échantillonnage (ex. : art. 200 du RRA)» 88
5.11.1.3 Reporting/rapport : les exigences de produire rapport et le contenu du rapport . 89
6. La Californie 100
6.1 L'absence d'une norme légale au niveau fédéral 103
6.1.1 Normes nationale de qualité de l'air pour six (6) polluants seulement, à l'exclusion du nickel 104
6.1.2 Normes technologiques potentielles pour 107 polluants atmosphériques dangereux - (*Hazardous Air Pollutants - HAPs*), dont les composés du nickel 105
6.2 Les normes californiennes sur le nickel 106
6.2.1 Des normes ou critères pour 11 polluants (*Air Ambient Quality Standards -AAQS*), à l'exclusion du nickel 107
6.2.2 Le nickel comme contaminant atmosphérique toxique : l'obligation de réduire les émission polluantes 111
6.2.3 Normes spéciales pour les *Hot Spots* toxiques : analyse de risques, information du public, réduction des émissions polluantes 115
6.2.4 Le nickel comme substance cancérigène : une obligation d'avertissement 117
6.2.5 La fixation de seuils-limite ou *Reference Exposure Levels* pour les effets non-cancérigènes du nickel 121
7. L'Australie 131
7.1 Mise en contexte 131
7.2 Le cadre général applicable à la réglementation du nickel 132
7.2.1 La «National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure» 133

7.2.3 Le Department of Water and Environmental Regulation (DWER) 134
7.3 Application dans deux cas d'espèce 135
7.3.1 Le projet du port d'Esperance 135
7.3.1.1 La surveillance des exigences imposées 138
7.3.1.2 L'Environmental Protection Authority (EPA) 140
7.3.2 Le projet minier Wingellina 141
8. La norme européenne 144
8.1 Généralités sur le droit européen de l'environnement 144
8.1.1 La Directive 2004/107/CE sur l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques 145
8.1.1.1 Contexte et approche globale 145
8.1.1.2 Le régime juridique général de la gestion de l'air ambiant 148
8.1.1.3 Délimitation du territoire, seuils d'évaluation et méthodes d'évaluation de la qualité de l'air ambiant 157
8.1.1.4 Rapports officiels et information du public 162
9. La France 167
9.1 Problèmes de pollution de l'air en France 168
9.2 Moyenne annuelle des concentrations de nickel en Europe en 2015 169
9.3 L'évolution des émissions et des concentrations de nickel en France 171
9.3.1 Les émissions 171
9.3.2 Les concentrations 174
9.4 Définition de la norme 174
9.4.1 Une valeur cible et non une valeur limite 176
9.4.1.1 Une obligation de résultat pour la valeur limite : la décision du Conseil d'État du 12 juillet 2017 177
9.5 Portée de la norme nickel de la Directive 2004/107/CE: une obligation de moyen, sans valeur contraignante 178
9.6 L'application de la norme 179
9.6.1 Survol général de la surveillance de la qualité de l'air 180
9.6.2 Rôle des AASQA 181
9.7 Le découpage du territoire en zones de surveillance de l'air 181
9.8 Le déclenchement de la surveillance : seuils inférieurs et supérieurs 183
9.8.1 Généralités 184
9.8.2 Seuil pour le nickel 184
9.8.3 Points de prélèvement et prélèvements 185
9.9 Contrôles et sanctions, en cas de dépassement de la norme 187
9.10 Les Plans de protection de l'atmosphère 188
9.11 Le droit des installations classées pour fins de protection de l'environnement 191
9.12 Mesures administratives et pénales 192
9.13 Le traitement du dépassement de la norme nickel dans les Hauts-de-France (2016) 193
10. La Nouvelle-Calédonie 201
11. La Norvège 205
11.1 Le statut de la Norvège face à l'UE : un membre de l'Espace Économique Européen 205
11.2 Les concentrations de métaux lourds dans l'air ambiant : un bref aperçu 206
11.2.1 Concentrations moyennes annuelles de métaux lourds dans l'air et les aérosols en 2016. Unité: ng / m_3 207

11.2.2 Concentrations moyennes annuelles de métaux lourds dans l'air et les aérosols en 2015. Unité: ng/m3 208
11.2.3 Concentrations moyennes annuelles du nickel dans l'air et les aérosols pour 2014 et 2013. Unité: ng/m3 208
11.3 Sources du droit norvégien sur le chapitre de la pollution atmosphérique 209
11.4 La valeur cible de la Norvège 211
11.5 Mécanisme d'application 213
11.5.1 Stations de mesure 213
11.6 Responsabilité 214
11.7 Problèmes russo-norvégiens 215
Bibliographie sélective

1. Introduction et rappel du mandat

Le gouvernement du Québec nous a confié, par l'intermédiaire du Comité interministériel d'examen de la norme québécoise du nickel du *Règlement sur l'assainissement atmosphérique*, le mandat de fournir une analyse comparative des réglementations de protection de l'air ambiant s'appliquant à l'industrie du nickel ailleurs dans le monde.

Précisons d'emblée que l'air ambiant désigne généralement l'air extérieur de la troposphère, à l'exclusion des lieux de travail[1]. Une telle distinction est d'ailleurs reconnue au Québec, l'article 1 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE) définissant l'atmosphère comme « *l'air ambiant qui entoure la terre à l'exclusion de l'air qui se trouve à l'intérieur d'une construction ou d'un espace souterrain* ». Ainsi, nous n'avons pas tenu compte, pour les fins de ce mandat, du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* (chapitre S-2.1, r. 13) et du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines* (chapitre S-2.1, r. 14).

Notre étude vise ainsi à comparer les normes encadrant les activités de la mine jusqu'au transbordement dans les ports, en passant par les raffineries. L'étude présente les normes et autres exigences réglementaires (suivi, mesures de mitigation, règles applicables si dépassement, bonnes

[1] Voir par exemple la *Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe :* l'air ambiant y est défini comme étant « l'air extérieur de la troposphère, à l'exclusion des lieux de travail tels que définis par la directive 89/654/CEE, auxquels s'appliquent les dispositions en matière de santé et de sécurité au travail et auxquels le public n'a normalement pas accès ».

pratiques, etc.), en différenciant les normes d'émissions et les normes de qualité du milieu (air ambiant), le cas échéant.

Nous avons jugé qu'il était d'abord pertinent d'examiner l'état du droit international sur la réglementation du nickel comme polluant atmosphérique. En effet, concernant la pollution de l'air ambiant, les législations nationales découlent souvent des obligations que les États ont contractées en concluant des traités internationaux. Nous avons donc chercher, dans cet ensemble complexe, dans quelle mesure la communauté internationale était parvenue à établir des normes pour le nickel, dans les traités internationaux.

Nous avons ensuite étudié la norme québécoise et son évolution dans le temps, ainsi que les règles qui encadrent son application, puis procéder à l'analyse des normes applicables dans les juridictions pertinentes pour l'industrie du nickel, soit l'Ontario, la Californie, l'Australie, l'Union européenne, la France, la Nouvelle-Calédonie et la Norvège.

Ce rapport rend compte de notre analyse comparative de l'encadrement réglementaire québécois au regard des normes de ces autres juridictions. Il présente, dans le résumé exécutif qui suit, quelques recommandations au comité interministériel sur la stratégie à préconiser afin que la norme et les exigences applicables au Québec permettent de préserver l'environnement, la santé publique et le développement économique, dans une perspective de développement durable.

2. Résumé exécutif et recommandations

2.1 Résumé des normes applicables dans les différentes juridictions

2.1.1 Québec

Avant 2013, la norme nickel du *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (RAA) était de 6 ug/m^3 pour 1 heure et de 0, 012ug/m^3 pour un an, le calcul étant effectué dans les particules en suspension totale (PST). En 2013, la moyenne annuelle est abandonnée au profit d'un calcul sur

une période de 24 heures et d'une valeur limite de 0,014ug (14ng/$m^{3)}$, mesurée dans la fraction PM_{10}. On cherche les raisons de cette révision de la norme.

Il paraît que c'est à la suite de l'adoption de la norme horaire nickel en Californie, en 2012, suite à de nouvelles analyses de l'*Office of Environment Health Hasard Assesment* (OEHHA) du gouvernement californien, que le Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a jugé nécessaire de modifier sa norme nickel. Le Rapport californien de 2012, intitulé *Nickel Reference Exposure Levels. Nickel and nickel compounds. nickel oxide. Reference exposure levels (RELs)* propose différentes valeurs limites en fonction des temps d'exposition et des risques identifiés : pour une heure (toxité aiguë-*Acute Reference Exposure Level (aREL*)), la valeur limite est de 0,2 ug/m^3 ou 200 ng/m^3; pour 8 heures, elle est de 0,06 ug/m^3 (60ng) et pour un an (*Chronic REL Nickel and Nickel Compounds (except NiO*), la moyenne annuelle est établie à 0,014ug/m^3. On constate ainsi que la norme québécoise de 14ng/m^3 sur 24 heures est mathématiquement identique à la norme annuelle californienne. Une étude du MDDELCC estime que la nouvelle norme de 14ng/m^3 sur 24 heures est équivalente à la norme OMS de 2000 et au critère québécois qui avait été adopté en 2002, soit 0,002ug/m^3 sur un an.

L'analyse juridique est naturellement impuissante à apprécier l'importance de la modification de 2013 et à la comparer à la norme californienne; il revient à d'autres experts de se prononcer sur ce point.

2.1.2 International

À la différence d'autres métaux lourds, il n'existe pas de norme juridique internationale concernant le nickel. Il est vrai que plusieurs protocoles ont été adoptés dans le cadre de la *Convention sur la pollution transfrontière à longue distance* (Genève 1979) dont le Protocole sur les métaux lourds, signé à Aarhus en 1998, mais ce protocole ne concerne que le cadmium, le plomb et le mercure, soit les polluants les plus problématiques. Sur le plan strictement scientifique, l'OMS s'est intéressée au nickel au début des années 2000 et a proposé la norme de 0,0025 ug/m^3 ou 2.5ng/m3 comme moyenne annuelle, si l'on veut limiter le nombre de cancers

à un cas sur 1 million d'individus. Cette norme n'est qu'une simple recommandation et n'est pas obligatoire pour les États.

2.1.3 Europe

Par ailleurs, si le nickel n'a pas reçu d'attention spécifique en droit international, il a par contre fait l'objet de mesures spéciales sur le plan du droit communautaire européen. C'est la Directive 2004/107/CE sur l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques qui vient imposer aux États membres des normes précises en la matière. La Directive 2004/107/CE constate en tout premier lieu que « [l]es preuves scientifiques montrent que l'arsenic, le cadmium, le nickel et certains hydrocarbures aromatiques polycycliques sont des agents carcinogène (sic) génotoxiques pour l'homme et qu'il n'existe pas de seuil identifiable au-dessous duquel ces substances ne présentent pas de risque pour la santé des personnes ». Elle admet toutefois qu'eu égard au rapport coût-efficacité, « il n'est pas possible d'atteindre dans certains secteurs spécifiques des concentrations d'arsenic, de cadmium, de nickel et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant qui ne représentent pas un risque significatif pour la santé des personnes». La norme finalement retenue par la Directive 2004/107/CE est de 20 ng/m^3 (0,020 ug m^3) et vaut donc pour les 28 États de l'Union européenne. Il s'agit là d'une moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM_{10}. Elle vaut autant pour les effets cancérigènes de la matière que pour ses effets non-cancérigènes. L'obligation fondamentale des États est de prendre toutes les mesures nécessaires, à compter du 31 décembre 2012, pour s'assurer que les concentrations de nickel dans l'air ambiant ne dépassent pas la «valeur cible» ainsi déterminée.

Précisions ici qu'il s'agit d'une valeur cible et non d'une valeur limite. Alors que la valeur limite en est une à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteinte, la valeur cible est définie comme une « concentration dans l'air ambiant qui est fixée dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs pour la santé des personnes et l'environnement dans son ensemble qu'il convient d'atteindre, si possible, dans un délai déterminé».

La nuance est subtile mais importante, parce qu'elle fonde toute la distinction entre une obligation de résultat («valeur limite») et une obligation de moyen («valeur cible»).

2.1.4 France

La France, comme tout autre État membre de l'Union européenne, a intégré la norme européenne de 20ng/m^3 pour le nickel. Dans une décision en date du 12 juillet 2017, et suivant en cela la décision rendue par la Cour de justice de l'Union européenne (CJUE) dans l'arrêt *Client Earth* du 19 novembre 2014, le Conseil d'État français a jugé que la France n'est pas seulement tenue d'établir des plans relatifs à la qualité de l'air, mais qu'elle est aussi tenue d'élaborer des plans qui doivent permettre de revenir en-dessous des seuils dans un délai le plus bref possible, confirmant ainsi l'obligation de résultat qui est en jeu quand il s'agit de «valeur limite». Or cette décision a été rendue sur la base de la *Directive n°2008/50/CE de l'UE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe* (qui ne vise pas le nickel), laquelle n'opère pas de distinction entre valeur limite et valeur cible quant aux conséquences juridiques d'un dépassement de normes. Nous ne sommes pas convaincus que le Conseil d'État arriverait à la même conclusion s'il avait à statuer sur la base de la Directive 2004/107/CE. L'art.3 de la Directive 2004/107/CE, déclare en effet que les États « prennent toutes les mesures nécessaires qui n'entraînent pas de coûts disproportionnés » pour veiller à ce que les concentrations de nickel et autres métaux ne dépassent pas les valeurs cibles fixées et qu'en cas de dépassement de ces valeurs, ils doivent démontrer « qu'ils appliquent toutes les mesures nécessaires n'entraînant pas de coûts disproportionnés ». On ne saurait donc être trop catégorique sur la nature strictement obligatoire de la valeur cible. En cas de dépassement de cette valeur, l'État concerné doit toutefois prendre des moyens efficaces pour ramener les concentrations en dessous des seuils de la valeur cible; selon les termes mêmes de la Directive 2004/107/CE, l'État devrait « prendre toutes les mesures de réduction économique dans les secteurs concernés » sans toutefois entraîner des coûts disproportionnés, ni « la fermeture d'installations ». Un Rapport de la Cour des Comptes, en date de 2015, estime que la non-atteinte des valeurs cibles établies pour le nickel et autres métaux n'est pas sanctionnable.

2.1.5 Nouvelle-Calédonie

Le 11 janvier 2017, le Congrès de la Nouvelle-Calédonie a voté à l'unanimité une délibération relative à l'amélioration de la qualité de l'air ambiant visant à limiter les émissions de polluants. La nouvelle loi veut assurer, dans le respect des compétences des communes et des provinces, la surveillance de la qualité de l'air ambiant et prévoit que des arrêtés gouvernementaux vont venir préciser notamment la liste des substances surveillées et les normes de qualité de l'air. D'entrée de jeu, la loi souligne que les normes de qualité de l'air qui seront adoptées doivent respecter, « *a minima,* celles fixées par l'Union européenne et, le cas échéant, par l'organisation mondiale de la santé ». À la date du 16 avril 2018, le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie n'avait pas encore adopté la réglementation nécessaire à l'application de la loi. En effet, les services du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie sont toujours en train d'élaborer les arrêtés d'application prévus dans la délibération n°219 du 11 janvier 2017 mais on peut déjà conclure que la norme nickel ne sera pas moins sévère que celle qui découle de la Directive 2004/107/CE de l'Union européenne, soit la moyenne de 20ng/ m^3 dans la fraction PM_{10}.

2.1.6 Norvège

On aurait pu penser que la Norvège, qui n'est pas membre de l'Union européenne, aurait pu opter pour une autre valeur que celle qui règne en Europe, mais on constate qu'elle a choisi la même solution.

Si la Norvège n'est pas membre de l'UE, elle est par contre l'un des quatre membres encore restants de l'Association européenne de libre-échange[2] (AELE) avec l'Islande, le Liechtenstein et la Suisse. En 1992, l'AELE concluait une entente avec l'UE afin de créer l'espace économique européen[3] (EEE). Seule la Suisse a refusé de joindre ce nouvel espace européen et trois de ses membres- l'Autriche, la Finlande et la Suède- ont finalement décidé de faire partie de l'UE.

[2] À l'origine, l'AELE compte 7 membres : Autriche, Finlande, Islande, Liechtenstein, Norvège, Suède et Suisse. L'Autriche, la Finlande et la Suède ont décidé de joindre l'UE en 1995.

L'Accord sur l'espace économique européen, qui est entré en vigueur en 1994, établit une zone de libre circulation des personnes, des services, des marchandises et des capitaux entre 31 pays européens (28+3). Depuis le 1er juin 2012, les règlements et les directives de l'UE sont applicables à la Norvège, l'Islande et le Liechtenstein. On ne se surprendra pas à constater que la norme nickel de la Norvège s'aligne sur la valeur cible établie par l'UE dans sa Directive 2004/107/CE, soit une moyenne annuelle de 20ng/m^3 dans la fraction PM_{10}. La réglementation norvégienne dit expressément que « les mesures nécessaires doivent être mises en œuvre pour garantir que la concentration de la pollution dans l'air extérieur ne dépasse pas les valeurs cibles énumérées ci-dessous dans les délais impartis, à condition que cela n'implique pas des coûts supplémentaires disproportionnés ». [traduction du texte anglais], ce qui reproduit assez clairement la philosophie de la Directive 2004/107/CE qui distingue entre «valeur limite» et «valeur cible».

2.1.7 Californie

L'Agence fédérale américaine pour la protection de l'environnement (*Environment Protection Agency- EPA*) a établi des normes nationales pour six polluants : l'ozone troposphérique (O_3), le monoxyde de carbone (CO), le plomb, le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2) et les *Particulate Matters* (PM $_{2,5}$ et PM $_{10}$ Ces six polluants sont techniquement désignés comme des *Criteria Pollutants*[4]. Le nickel ne fait pas partie de cette courte liste. Par contre, il est identifié comme un polluant toxique dangereux (*Hazardous Air Pollutants - HAPs).*

En plus de voir à la bonne application des critères fédéraux pour les 6 polluants décrits plus haut - *Criteria Pollutants*- la Californie a ajouté 4 autres polluants à sa réglementation, -les *Californian Air Ambient Quality Standards* - CAAQS), mais le nickel ne fait pas partie de cette liste. Cependant, la Californie identifie le nickel comme un contaminant atmosphérique toxique

[3] L'Accord sur l'espace économique européen (EEE), signé le 2 mai 1992 à Porto par les douze États membres de la Communauté européenne, l'actuelle Union européenne (UE) et les sept pays de l'AELE. La Suisse, membre de l'AELE, a refusé de ratifier cet accord.

[4] Voir : OEHHA, *Criteria Pollutants,* [https://oehha.ca.gov/air/criteria-pollutants].Consulté le 25 mai 2018. Semble que l'*EPA* utilise ce terme parce qu'elle les réglemente après sur la base de critères scientifiques fondés sur la

qui fait aussi partie de la liste des produits chimiques qui sont connus pour causer le cancer, aux fins de la loi californienne *Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act of 1986 -Proposition 65*. Le nickel a aussi été visé par le *Air Resources Board* au début des années 2010 pour ses effets non-cancérigènes et on lui a finalement attribué des plafonds ou seuils en fonction de certaines périodes de temps.

Conformément à l'article 44360 (b) (2) du *Health and Safety Code* de la Californie, l' *Office of Environmental Health Hazard Assessment* (*OEHHA*) doit élaborer des lignes directrices pour mener des évaluations des risques pour la santé publique dans le cadre du programme *Hot Spots* et c'est sur la base de ce programme que cet organisme définit des *RELs* (*Reference Exposure Levels-REL*) qui seront utilisées par la suite par les agences étatiques et locales dans la mise en œuvre du programme *Hot Spots;* à cet effet, il a rédigé un Document d'Appui Technique (*Technical Support Document,* 2008) qui décrit les niveaux d'exposition de référence pour trois périodes d'exposition différentes : 1 heure, 8 heures/jour et chronique. L'analyse, pour chaque polluant, doit tenir compte des effets différentiels de celui-ci sur la santé des nourrissons, des enfants et d'autres sous-populations sensibles. C'est sur la base de ces lignes directrices qu'ont été définis des *RELs* pour le nickel et les composés de nickel. Ces *Rels*, calculés dans la fraction PM_{10}, sont les suivants : 0.2 µg Ni/m³ pour une heure, 0,06ug/m^3 pour une période de 8 heures et 0.014 µg Ni/m^3 pour une exposition chronique, soit 20ng, 60ng et 14ng. C'est le *California Air Resources Board (ARB)* et chacun des trente-cinq *Districts* aériens de la Californie qui sont chargés du respect de ces *REls* via l'émission des permis de construction et d'opération. Le *REL* nickel n'est pas directement opposable à une entreprise qui dépasserait ces niveaux. En effet, il ne s'agit que d'une ligne directrice qui n'est directement utilisée que dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé de l'*Air Toxic Hot Spots*. Tout au plus le REL nickel peut-il conduire à des exigences obligatoires de notification et de réduction des risques dans le cadre des émissions de permis.

---

protection de la santé humaine et / ou l'environnement.

2.1.8 Australie

L'Australie-Occidentale est un État de la fédération australienne. C'est dans cet État que se trouve la quasi-totalité des ressources en nickel du pays. Puisque l'Australie est une fédération et que l'environnement n'y est pas un domaine de compétence attribué de manière spécifique à un palier de gouvernement, des normes fédérales et étatiques régissent ce domaine.

Du point de vue fédéral, la National Environment Protection (*Ambient Air Quality*) Measure fixe des normes minimales à respecter par l'ensemble des États de l'Australie. La National Environment Protection (*Ambient Air Quality*) Measure ne vise pas des secteurs d'activité précis. Son objectif est plutôt d'assurer la qualité de l'air pour l'ensemble du territoire. Ainsi, chaque État doit mettre sur pied un plan de surveillance de la qualité de l'air et implanter des stations de mesurage sur l'ensemble du territoire[5]. Bien que le nickel ne soit pas mentionné de manière explicite dans la liste des polluants visés par cette loi, les États ont tout de même l'obligation de mesurer la présence de particules dans l'air en PM10 et PM2,5, ces dernières particules étant considérées comme des polluants à part entière au sens de l'annexe 1 de la National Environment Protection (*Ambient Air Quality*) Measure. On comprend donc que les particules de nickel font partie des polluants visés par la loi, étant incluses dans la catégorie plus générale des particules en PM10 et PM2,5. En ce qui concerne ces particules, la norme à respecter est de 25 µg/m^3 pour 1 an ou 50 µg/m^3 par jour[6].

L'Australie-Occidentale a également établi certaines lignes directrices en la matière, par le biais d'organismes publics et parapublics. Ainsi, en 2009, le *Western Australian Department of Health* (DoH) a établi une ligne directrice annuelle de 3 ng/m3 (0.003ug/m3) pour les particules de nickel dans l'air (PM10)[7]. Cette ligne directrice, mesurée annuellement, tenait compte des effets nocifs des particules de nickel sur la santé et correspondait à celle recommandée par l'OMS[8].

---

[5] *National Environment Protection (Ambiant Air Quality) Measure*, F2016C00215, Australia Governement, https://www.legislation.gov.au/Details/F2016C00215, début d'application le 3 février 2016, Art. 10.

[6] *Op. cit.,* schedule 2 , table 1.

[7] *Health Risk Assessement,* Wingellina Nickel Project, Metals X Limited, SNC Lavallin, p. 46.

[8] *Works Approval Environmental Protection Act 1986, Part V,* Works Approval numbers : W5840/2015/1, Government of Westner Australia, Issue : 31 Décembre 2015, https://www.der.wa.gov.au/component/k2/item/8265-w5840, p.18.

Cependant, cette ligne directrice n'a pas un caractère contraignant et n'est pas applicable dans tous les projets. Il s'agit d'une ligne directrice proposée par le DoH pour minimiser les impacts sur la santé liés à l'émission de la poussière de nickel.

Ainsi, les organismes responsables de l'autorisation de projets ayant des répercussions sur l'environnement, le Department of Water and Environmental Regulation (DWER) et l'Environmental Protection Authority (EPA), n'ont pas toujours retenu de manière explicite cette ligne directrice dans leurs évaluations, préférant parfois établir des normes d'émission applicables au cas par cas, pour chaque projet.

Par exemple, en 2015, le DWER a imposé certaines conditions avant l'approbation d'un projet de construction d'installations visant le transbordement de nickel dans le port d'Esperance, en Australie-Occidentale. Ce projet visait le chargement quotidien d'environ 82 000 tonnes de concentré de nickel vers les cales de cargos.[9]

Pour ces installations portuaires, le DWER a établi la valeur à respecter, mesurée quotidiennement, à 0.14 µg/m^3 (140 ng) dans les PST et non dans les PM10.[10] DWER a choisi de ne pas retenir la ligne directrice de 3 ng/m3 (0.003ug/m3) pour les particules de nickel dans l'air (PM10) puisqu'elle ne correspondait pas tout à fait à la réalité. En effet, du point de vue du DWER, les propriétés du type de nickel transbordé dans le cadre du projet du port d'Esperance sont beaucoup moins nocives pour la santé que celles du subsulfure de nickel, dont la norme de l'OMS tient compte[11]. La valeur de 0.14 µg/m^3 journalière a donc été retenue, avec l'approbation du DoH. Cette limite a été intégrée à l'autorisation environnementale du port d'Esperance et ne peut être dépassée par le port. Les cas de dépassement des conditions prévues dans une autorisation environnementale constituent une infraction au sens de l'article 58 de l'*Environmental Protection Act of 1986.*

---

[9] *Works Approval Environmental Protection Act 1986, Part V,* Works Approval numbers : W5840/2015/1, Government of Westner Australia, Issue : 31 Décembre 2015, https://www.der.wa.gov.au/component/k2/item/8265-w5840, p.1.

[10] *Id.* voir le tableau, section 2.2.2.

[11] *Op. cit.,* p.13.

L'Environmental Protection Authority (EPA) a également produit des rapports visant l'approbation de projets potentiellement polluants. L'EPA utilise des guides de bonnes pratiques, notamment quant à la qualité de l'air, pour orienter ses décisions. Ils ne s'agit pas de guides contraignants, mais de guides généraux servant à orienter les promoteurs de nouveaux projets et les décideurs de l'EPA. En 2013, Hinckley Range Pty Ltd a proposé d'extraire du minerai nickelifère du gisement Wingellina situé à environ 1 400 km au nord-est de Perth, en Australie-Occidentale. Même si les guides de bonnes pratiques ne contenaient pas de référence à une norme d'émission particulière, l'EPA a recommandé le projet minier Wingellina, car l'analyse scientifique présentée par le promoteur prévoyait que ce projet allait respecter la ligne directrice annuelle de 0.003ug/ m^3 dans les PM_{10} établie par le DoH[12].

2.1.9 Ontario

Le règlement *Ontario Regulation 419/05* – Air Pollution – Local Air Quality est un règlement adopté en 2005 par le gouvernement de l'Ontario en vertu de la *Loi sur la protection de l'environnement.* Ce règlement peut être respecté par les émetteurs de trois façons:

1) En se conformant à la norme d'air ambiant générale prévue au règlement. En effet, en ce qui concerne le nickel, le ministère a mis en place, à partir de 2009, un processus visant à établir une norme générale de la qualité de l'air ambiant pour le nickel. Cette norme est entrée en vigueur le 1er juillet 2016 et établit à 0,04 µg/m^3 (40 ng), dans les PST, la concentration annuelle maximale limite devant être respectée dans l'air ambiant à l'extérieur des limites de propriété d'une installation industrielle.

2) En demandant d'être soumis à une norme d'air ambiant spécifique à un site particulier (*site-specific standard*) (*SSS*).

ou

3) En demandant d'être soumis à une norme technique sectorielle (*sector-based technical standard*) (*SBTS*) et en la respectant. Ce standard ne fixe pas de norme

[12] Report and recommendations of the Environmental Protection Authority, Report 1568, june 2016, p. 15

d'air ambiant, mais réfère à des pratiques, répondant aux meilleures technologies disponibles, à appliquer pour l'industrie concernée.

En 2018, un nouveau joueur de nickel ne pourrait pas demander un SSS car il n'est plus dans les délais, après la mise en vigueur de la nouvelle norme d'air ambiant. Par contre, il pourrait demander que la norme technique sectorielle s'applique à ses installations. Les installations de Vale et de Glencore se néanmoins sont prévalues de l'opportunité d'obtenir un Site-specific-Standard (SSS) relatif à leurs installations, dans les délais prescrits. Ils ont recommandé un SSS qui a été approuvé par le ministère.

Pour bénéficier de l'application de la norme technique sectorielle, les entreprises doivent être inscrites au registre des normes techniques du ministère. Le directeur évaluera également certains critères d'opportunité. Ce qu'il faut comprendre du régime ontarien, c'est que l'objectif de la norme industrielle sectorielle est de faciliter l'application d'un autre type de cadre réglementaire pour les entreprises qui ne pourront respecter la norme réglementaire générale sur la qualité de l'air sans impacts financiers importants.

2.2 Constats et recommandations

2.2.1 Constats

Partout dans l'Union européenne des 28, ainsi qu'en Norvège et probablement bientôt en Nouvelle-Calédonie (voir section 10 du présent rapport) , la norme nickel est de 20ng /an /m^3 pour les particules de nickel dans l'air dans les PM10[13]. Il s'agit toutefois d'une «valeur cible» et non d'une «valeur limite». Cette valeur cible doit être respectée « dans la mesure du possible[14] ». Ce choix, qui a été fait par la Commission européenne, d'établir la norme pour le nickel à 0,02 ug/m^3 visait, à l'époque, en Europe, à trouver un équilibre entre la protection de la santé des personnes et la non imposition de coûts excessifs qui entraînerait la fermeture d'entreprises.

[13] *Health Risk Assessement,* Wingellina Nickel Project, Metals X Limited, SNC Lavallin, p. 46.

En Californie, elle est de 0,2 ug/m^3 ou 200 ng/m^3 pour 1 heure, de de 0,06 ug/m^3 (60ng) pour 8 heures et de ,014ug/m^3 (14ng) dans les PM10, pour une année.

En Ontario, elle est de 40 ng par an depuis le 1er juillet 2016 (0,04 µg/m^3 : concentration annuelle) dans les particules en suspension (PST).

En Australie de l'Ouest, le *Western Australian Department of Health* (DoH) a établi une ligne directrice annuelle de 3 ng/m^3 (0.003ug/m^3) dans les PM10, telle que recommandée par l'OMS[15]. Il ne s'agit toutefois que d'une valeur indicative de qualité dans l'air ambiant. Pour le port d'Esperance, par exemple, la valeur imposée dans le certificat d'autorisation est de 14ng/m^3 (0.014 ug/m^3) par jour mais dans les PST et non dans les PM10 comme au Québec, et pour la mine Wingellina, la valeur imposée dans le certificat d'autorisation est de 3 ng/m^3/an.

De plus, dans toutes les juridictions, dans les textes législatifs, des sanctions existent et peuvent permettre d'exiger le respect des normes et aussi des valeurs imposées dans les certificats d'autorisation et permis délivrés par les autorités publiques. Mais, au-delà de ces seuils, il ne semble pas, de manière générale, que des sanctions soient automatiquement appliquées, bien qu'une étude de terrain aurait été nécessaire pour se faire une idée de l'application concrète de sanctions en cas de dépassement des normes. Il semble que de manière générale, dans la plupart des juridictions, des mesures de gestion de l'amélioration en continu soient demandées à l'établissement, par exemple la mise de bâches, l'arrêt des déchargements en période de grands vents ou le recours au meilleures technologies.

Il reste bien sûr à évaluer comment la norme québécoise de 14ng/m^3/24 h dans les PM10 se compare avec celles de ces autres pays. Les juristes ne sont pas en mesure de se prononcer sur cette question qui nécessite des analyses scientifiques. Il nous est néanmoins possible de se prononcer sur les approches réglementaires des différentes juridictions et de formuler quelques

---

[14] Voir le considérant no 4 de la Directive 2004/107/CE.

[15] [15] *Works Approval Environmental Protection Act 1986, Part V,* Works Approval numbers : W5840/2015/1, Government of Westner Australia, Issue : 31 Décembre 2015, https://www.der.wa.gov.au/component/k2/item/8265-w5840, p.18.

recommandations à leur égard en les examinant à la lumière, notamment, des lignes directrices de l'OMS.

2.2.2 Recommandations

2.2.2.1 L'approche californienne pour élaborer la norme est d'intérêt mais non la ligne directrice qui en résulte

Nous sommes d'avis que l'approche de gestion du risque pour l'adoption des normes sur la pollution de l'air ambiant en Californie est intéressante. En effet, les «*Statements of Reasons*» y fournissent les raisons scientifiques d'adoption des normes de pollution de l'air ambiant imposées à l'industrie, dans leurs certificats d'autorisation particuliers. Ces valeurs sont fondées sur des fondements scientifiques qui découlent de la recommandation d'experts scientifiques indépendants, et font l'objet d'un plus large consensus puisqu'elles sont exigées à la suite de la participation des principaux intervenants et du public.[16]

Cette approche correspond d'ailleurs aux stratégies et approches que préconise la *Convention de 1979 sur la pollution atmsophérique à longue distance* qui prévoit,à son article 6 portant sur la qualité de l'air que :

> «Compte tenu des articles 2 à 5, des recherches en cours, des échanges d'informations et des activités de surveillance et de leurs résultats, du coût et de l'efficacité des mesures correctives prises localement et d'autres mesures, et pour combattre la pollution atmosphérique, en particulier celle qui provient d'installations nouvelles ou transformées, chaque pays contractant s'engage à élaborer les meilleures politiques et stratégies, y compris des systèmes de gestion de la qualité de l'air et, dans le cadre de ces systèmes, des mesures de contrôle qui soient compatibles avec un développement équilibré, en

[16] Voir la description de cette approche à la section 2.1.7 de ce rapport.

recourant notamment à la meilleure technologie disponible et économiquement applicable et à des techniques produisant peu ou pas de déchets».[17]

L'idée que retiennent ces juridictions et qui veut que les normes et lignes directrices sur le nickel soient adoptés à la suite de constats scientifiques et qu'elles privilégient le recours à la meilleure technologie disponible, est certainement à suivre.

2.2.2.2 Le choix d'une norme générale sur le nickel pour le Québec

A) Le choix d'une norme générale sur le nickel au Québec dépend de plusieurs variables

Il est difficile de comparer les différentes normes et lignes directrices qui varient selon les juridictions que nous avons étudiées et qui sont présentées dans ce rapport. En effet, il est difficile de se prononcer sur le caractère plus ou moins strict du choix d'une moyenne sur 24 heures plutôt que d'une moyenne annuelle. Le choix de lignes directrices relatives à la qualité de l'air, soit celle sur la moyenne annuelle ou celle sur la moyenne sur 24 heures, a tendance à varier selon les pays, car il dépend en grande partie des caractéristiques particulières des sources de polluants et de l'endroit où elles se trouvent. Si on examine les lignes directrices de l'OMS relatives à la qualité de l'air et les cibles intermédiaires, il est généralement recommandé que la moyenne annuelle prenne le pas sur la moyenne sur 24 heures puisque, à faible concentration, les expositions épisodiques sont moins préoccupantes. Le fait d'atteindre les valeurs indicatives de la moyenne sur 24 heures permettra cependant de se protéger contre les pics de pollution qui conduiraient autrement à une sur-morbidité ou à une surmortalité importante. Dans ces lignes directrices, il est recommandé que les pays dans lesquels il y a des régions qui ne réussissent pas à respecter les valeurs indicatives sur 24 heures prennent des mesures immédiates pour les atteindre le plus rapidement possible.[18]

---

[17] Article 6 *Convention sur la pollution atmosphérique à longue distance*.

[18] Organisation mondiale de la santé, *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre, Mise à jour mondiale 2005, Synthèse de l'évaluation des risques*, 2006, [en ligne : http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69476/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_fre.pdf].

De plus, nous devons souligner que dans plusieurs juridictions, soit au moins celles de l'Ontario et de l'Australie de l'Ouest, des approches existent qui permettent de déroger à la norme générale sur le nickel pour prévoir des normes sectorielles particulières ou des normes pour un établissement minier ou industriel en particulier. Il ne nous semble toutefois pas que cette approche soit à reproduire au Québec puisqu'elle entraîne une négociation au cas par cas qui n'est pas souhaitable. L'approche californienne, qui ne propose pas une norme générale sur le nickel, mais plutôt une ligne directrice (RELs)[19] utilisée dans les analyses de risques pour chaque projet, mène également à ce genre de négociation, site par site.

B) Cette norme pourrait s'aligner celle choisie dans les 28 pays de l'Union européenne

Il nous apparaît qu'une norme générale possiblement la norme retenue par la *Directive 2004/107/CE*, qui est de 0,02 ug/m^3 (20 ng/m^3) et qui vaut pour les 28 États de l'Union européenne – et qui est également la même en Norvège, et bientôt en Nouvelle-Calédonie – pourrait être évaluée comme une option envisageable au Québec.

De plus, concernant le choix d'une norme générale québécoise sur le nickel, soulignons également que bien qu'il nous semble souhaitable que la gestion du contrôle de la qualité de l'air

[19] Aux termes du *Health and Safety Code*, (art. 44360 (b) (2)), l'OEHHA doit élaborer des lignes directrices pour mener des évaluations des risques pour la santé publique ; à cet effet, il a rédigé un Document d'appui technique (*Technical Support Document,* 2008) qui décrit les niveaux d'exposition de référence (*Reference Exposure Levels-REL*) pour trois périodes d'exposition différentes : 1 heure, 8 heures/jour et chronique. L'analyse doit tenir compte des effets différentiels des polluants sur la santé des nourrissons, des enfants et d'autres sous-populations sensibles. C'est sur la base de ces lignes directrices qu'ont été définis des *RELs* pour le nickel et les composés de nickel. Les *RELs* servent essentiellement à guider les analyses de risque[19] qui sont exigées des *Districts* par le *Health and Safety Code* pour les fins de catégorisation des entreprises dans l'une ou l'autre des trois catégories prévues par la loi : haute priorité, moyenne priorité, basse priorité pour les fins de l'évaluation du risque sanitaire. Le *REL* nickel n'est pas directement opposable à une entreprise qui dépasserait ces niveaux; selon un administrateur de l'OEHHA, le *REL* n'est directement utilisé que dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé de l'*Air Toxic Hot Spots*; tout au plus peut-il conduire à des exigences obligatoires de notification / réduction des risques. Les agences californiennes et autres entités étatiques peuvent utiliser les valeurs REL à d'autres fins, mais elles ne sont pas mandatées pour le faire.

ambiant puisse continuer à relever de la ville de Montréal, il nous semble incongru que la norme montréalaise actuelle sur le nickel puisse différer autant de la norme générale imposée sur le reste du territoire québécois, considérant que la plus forte concentration de population dans la province se trouve justement dans cette agglomération.

Rappelons ici que la norme de l'Union européenne est une moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM_{10}. Elle vaut autant pour les effets cancérigènes de la matière que pour ses effets non-cancérigènes. L'obligation fondamentale des 28 États européens est de prendre toutes les mesures nécessaires, à compter du 31 décembre 2012, pour s'assurer que les concentrations de nickel dans l'air ambiant ne dépassent pas la «valeur cible» ainsi déterminée. Une «valeur cible» n'est pas, en droit de l'Union européenne, une «valeur limite». Le respect d'une «valeur cible» est une obligation de moyen (de prendre tous les moyens raisonnables de la respecter, selon les meilleures technologies disponibles et de retrouver une conformité dans un temps raisonnable le plus court possible), tandis que le respect d'une «valeur limite» est une obligation de résultat. Dans le droit de l'Union européenne, et comme nous le détaillons dans ce rapport, il est entendu que ces mesures ne doivent pas entraîner de coûts disproportionnés pour les entreprises et ne doivent pas entraîner la fermeture d'installations; pour les installations industrielles, ces mesures ne devraient pas entraîner des moyens qui vont au-delà de l'application des meilleures technologies disponibles. On peut dès lors conclure que la valeur cible doit être respectée « dans la mesure du possible[20] ». Ce choix, qui a été fait par la Commission européenne, d'établir la norme pour le nickel à 0,02 ug/m^3 visait, à l'époque, en Europe, à trouver un équilibre entre la protection de la santé des personnes et la non imposition de coûts excessifs qui entraînerait la fermeture d'entreprises.

[20] Voir le considérant no 4 de la Directive 2004/107/CE.

C) Le choix d'une «valeur cible» ou d'une «valeur limite» et la notion de marge de dépassement

i) Comment apprécie-t-on la marge de dépassement d'une «valeur limite» en droit européen

La «marge de dépassement» existe en droit européen, non pas pour le nickel, maispour ce qui est du contrôle de la concentration d'autres métaux lourds dans l'air ambiant, en vertu de la *Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe*.[21] Toutefois, dans ce cas, ce qu'on appelle «marge de dépassement» n'est pas envisagé de la même manière que pour la gestion du suivi de la «valeur cible» sur le nickel instaurée par la *Directive 2004/107/CE*. En effet, pour les autres métaux lourds plus problématiques que le nickel, c'est la *Directive 2008/50/CE* qui s'applique et elle instaure des «valeurs limites» et non des «valeurs cibles». Rappelons ici, comme nous l'expliquons plus loin dans le présent rapport, que cette directive s'applique à d'autres métaux lourds mais pas au nickel. Toutefois, la *Directive 2008/50/CE* définit différents concepts, comme suit, et instaure le concept de marge de dépassement. Dans cette Directive qui s'applique aux métaux lourds les plus problématiques, mais non au nickel, cette «marge de dépassement est davantage normée que pour la valeur cible que prévoit la *Directive 2004/107/CE*, puisque la *Directive 2008/50/CE* prévoit un « pourcentage de la valeur limite dont cette valeur peut être dépassée dans les conditions fixées par la présente directive » :

> 5) «valeur limite»: un niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint;
> 6) «niveau critique»: un niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques, au-delà duquel des effets nocifs directs peuvent se produire sur certains récepteurs, tels que arbres, autres plantes ou écosystèmes naturels, mais pas sur des êtres humains;
> 7) «marge de dépassement»: le pourcentage de la valeur limite dont cette valeur peut être dépassée dans les conditions fixées par la présente directive;
> 8) «plans relatifs à la qualité de l'air»: les plans énonçant des mesures visant à atteindre les valeurs limites ou valeurs cibles;

[21] [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:FR:PDF].

9) «valeur cible»: un niveau fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

En mettant de l'avant ce concept de «marge de dépassement», la *Directive 2008/50/CE* ne fait pas de distinction entre la valeur limite (obligation de résultat) et la valeur cible (obligation de moyen) quant au respect des normes. En effet, son article 23 déclare que « [l]orsque, dans une zone ou agglomération donnée, les niveaux de polluants dans l'air ambiant dépassent toute valeur limite ou toute valeur cible, majorée dans chaque cas de toute marge de dépassement, les États membres veillent à ce que des plans relatifs à la qualité de l'air soient établis pour cette zone ou agglomération afin d'atteindre la valeur limite ou la valeur cible correspondante indiquée aux annexes XI et XIV. En cas de dépassement de ces valeurs limites après le délai prévu pour leur application, les plans relatifs à la qualité de l'air prévoient des mesures appropriées pour que la période de dépassement soit la plus courte possible ».

ii) Comment apprécie-t-on la valeur-cible et sa marge de dépassement inhérente en droit européen

Si nous parlons d'une valeur-cible pour le Québec, la notion de marge de dépassement ne fait pas de sens puisque la valeur-cible admet implicitement des dépassements : par définition, elle est une concentration dans l'air ambiant qu'il convient d'atteindre, si possible, dans un délai déterminé. La valeur-cible n'est pas une norme de qualité environnementale. La *Directive 2004/107/CE* précise clairement que le respect de la valeur-cible *ne devrait pas impliquer des mesures entraînant des coûts disproportionnés*. *En ce qui concerne les installations industrielles, elles ne devraient pas entraîner de mesures qui aillent au-delà de l'application des meilleures technologies disponibles (MTD) exigée par la directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution ni, en particulier, la fermeture d'installations. Cependant, elles devraient conduire les États membres à prendre toutes les mesures de réduction économiques dans les secteurs concernés*. Le délai qui a été déterminé pour atteindre la cible nickel et de 8 ans (cible qui devrait être atteinte à compter du 31 décembre 2012

La *Directive 2004/107/CE* précise que [l]orsque les concentrations dépassent certains seuils d'évaluation, la surveillance de l'arsenic, du cadmium, du nickel et du benzo(a)pyrène devrait être obligatoire. Les États membres établissent la liste des zones et agglomérations où les valeurs cibles visées à l'annexe I sont dépassées. Pour ces zones et agglomérations, les États membres déterminent les secteurs de dépassement et les sources qui y contribuent. Dans les secteurs concernés, les États membres démontrent qu'ils appliquent toutes les mesures nécessaires n'entraînant pas des coûts disproportionnés, visant en particulier les sources d'émission prédominantes, de façon à atteindre les valeurs cibles (art. 3). L'art.7 de cette même *Directive 2004/107/CE* concerne l'information du public au sujet des dépassements de la «valeur cible». Des informations claires et compréhensibles doivent être mises à la disposition du public ainsi que des organismes appropriés, (organismes de protection de l'environnement, associations de consommateurs, organisations représentant les intérêts des catégories sensibles de la population et les autres organismes de santé concernés). *Elles précisent les causes du dépassement et le secteur qu'il concerne. Elles fournissent également une brève évaluation en ce qui concerne la valeur cible et des renseignements appropriés concernant les effets sur la santé et l'impact sur l'environnement. Des informations sur les mesures prises conformément à l'article 3 sont mises à la disposition des organismes mentionnés au paragraphe 1.*

2.2.2.3 Recommandations pour la modification de la norme sur le nickel dans l'air ambiant au Québec

Si la norme générale québécoise était une «valeur cible» comme en droit de l'Union européenne, dans la *Directive 2004/107/CE*, assortie d'une pratique de surveillance rigoureuse, elle serait une obligation de moyens et permettrait implicitement une «marge de dépassement» avant que des sanctions soient imposées à l'entreprise. En effet, dans le droit de l'Union européenne, cette «marge de dépassement» est, comme on vient de le voir, inhérente au fait que la norme sur le nickel établie par la *Directrice 2004/107/CE* de l'Union européenne soit une «valeur cible» et non une «valeur limite».Si le gouvernement adoptait une valeur-cible pour le Québec, il n'aurait ainsi pas besoin de prévoir la notion de marge de dépassement dans le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (RAA). Or, le souci de cohérence réglementaire nous semble

dicter plutôt le choix d'une «valeur limite» puisque les normes de qualité environementale qui sont prévues pour les autres métaux dans le *RAA* sont des valeurs limites et non des valeurs cibles. Pourquoi traiter différemment les normes sur le nickel ? Cela ne ferait pas de sens. En effet, une «valeur-cible» est une obligation de moyens et non de résultat qui admet implicitement des dépassements : par définition, elle est une concentration dans l'air ambiant qu'il convient d'atteindre, «si possible», dans un délai déterminé. Lorsqu'un cas de dépassement serait constaté, une demande de redressement, avec une gestion continue du retour à la conformité dans un temps raisonnable, serait exigé par les autorités publiques. Cela n'est pas si différent de la situation actuelle lorsque les autorités constatent le non-respect ponctuel des normes d'émission du RAA. Mieux vaut, selon nous, adopter une norme générale annuelle sur le nickel qui s'aligne sur la valeur de la norme de la *Directrice 2004/107/CE* de l'Union européenne et ne pas réglementer de «marge de dépassement», notion qui est étrangère au RAA et qui serait de droit nouveau seulement pour le nickel.

Il apparaît que la marge de dépassement a été conçue pour aménager un temps d'ajustement aux entreprises qui doivent respecter, à terme, des valeurs-limites définies. Par définition, la marge de dépassement est temporaire. Or, les entreprises québécoises sont assujetties depuis un moment déjà à la norme nickel du RAA et si cette norme est assouplie pour s'aligner sur la norme de 20 ng/m^3 comme moyenne annuelle dans le contenu total de la fraction PM_{10}, ils n'auront pas de mal à la respecter avec les meilleures technologies disponibles.

3. Les normes internationales

On cherche en vain, dans le corpus actuel du droit international, l'existence d'une norme qui viendrait limiter les émissions de nickel dans l'atmosphère. On trouve par contre une norme purement facultative, mais à caractère scientifique, proposée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

3.1 L'absence d'une norme légale internationale

La *Convention sur la pollution transfrontière à longue distance*[22] (Genève 1979, ci-après «la Convention PATLD») est une convention-cadre qui organise la lutte contre la pollution atmosphérique, y compris la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Dans l'état actuel, ce traité constitue le principal cadre juridique international qui organise la coopération entre les États et établit des mesures visant à limiter et à réduire progressivement la pollution atmosphérique, notamment la pollution transfrontière. Elle lie actuellement 51 États, dont les États européens, la Fédération de Russie, les États-Unis et le Canada. La Convention PATLD a pour but de renforcer la coopération internationale en matière d'émissions de polluants atmosphériques, et pose le principe d'échanges d'informations entre les États.

En effet, elle prévoit que les États parties mettent en place un programme de surveillance et d'évaluation des mouvements à longue distance des polluants de l'air, et établit les bases d'un dispositif normalisé et harmonisé de gestion de la qualité de l'air en Europe. Plusieurs protocoles[23] ont été adoptés sous son empire, afin de combattre les phénomènes d'acidification (SO_2, (SO_2 + SO_3), NOx (NO + NO_2), NH_3, d'eutrophisation : (NH_3, NOx, de pollution photochimique (CO, COVNM, NOx (NO + NO_2), de contamination par les polluants organiques persistants (dioxines et furannes (PCDD-F), HAP, PCB, HCB), de particules en suspension (TSP, PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1)}$, de métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn) et de l'accroissement de l'effet de serre (CH_4, CO_2, N_2O, HFC, PFC, NF_3 et SF_6).

---

[22] Nations Unies, *Recueil des Traités,* vol. 1302, p.217. Adoptée le 13 novembre 1979 dans le cadre des travaux de la Commission économique pour l'Europe sur la protection de l'environnement et entrée en vigueur le 16 mars 1983. Le Canada l'a ratifiée le 15 décembre 1981.

[23] Protocole EMEP sur le financement permanent du *Programme concerté de surveillance et d'évaluation* (EMEP); Protocole d'Helsinki (1985) sur le SO_2, pour combattre les émissions acides; Protocole de Sofia (1988) sur les oxydes d'azote (NOx); Protocole de Genève (1991) sur les composés organiques volatils (COV); Protocole d'Oslo (1994) sur le soufre; Protocole d'Aarhus sur les polluants organiques persistants (POP); Protocole d'Aarhus sur les métaux lourds (1998; Protocole de Göteborg (1999) protocole « multi-polluants/multi-effets (émissions de dioxyde de soufre (SO_2), d'oxydes d'azote (NOx) et d'ammoniac (NH_3), responsables de l'acidification et de l'eutrophisation, et les émissions de composés organiques volatiles (COV).

Le Protocole sur les métaux lourds a été adopté en 1998 à Aarhus[24]. En vertu de ce Protocole, les États parties[25] prennent l'engagement de réduire leurs émissions annuelles totales dans l'atmosphère de métaux lourds par rapport à l'année 1990 ou une autre année de référence comprise en 1985 et 1995. Les États parties doivent appliquer les meilleures techniques disponibles pour certaines catégories de sources d'émission et respecter des valeurs limites d'émission applicables à certaines grandes sources fixes, comme la combustion de combustibles solides et liquides, l'incinération des déchets urbains, médicaux et dangereux. Son annexe III réfère aux meilleures techniques disponibles (MTD) («*Best available technology*») en faisant référence

Bien qu'il fasse partie de la catégorie des métaux lourds, le nickel n'est pas visé par ce Protocole, pas plus d'ailleurs que le chrome, l'arsenic et autres métaux lourds. Les métaux lourds visés par ce Protocole sont ceux qui sont considérés comme étant les plus critiques en raison de leur très grande toxicité, soit le cadmium, le plomb et le mercure[26].

Il faut souligner cependant que le nickel (au même titre que le Cd, Pb, Cu, Zn, As et le Cr.) fait l'objet d'une surveillance étroite aux fins de l'administration du Programme de coopération pour la surveillance continue et l'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe[27] (*European Monitoring and Evaluation Programme,*

---

[24] Entré en vigueur le 29 décembre 2003. Le Protocole fut amendé le 13 décembre 2012, non pas pour y inclure d'autres métaux comme le nickel, mais pour augmenter la sévérité des valeurs limites d'émission pour les particules ainsi que pour le cadmium, le mercure et le plomb et qui sont applicables à certaines catégories d'installations de combustion, d'incinération et d'installations industrielles. *Protocol to the 1979 convention on long-range transboundary air pollution on heavy metals with amendments adopted* (indicated as bold text and showing deleted text) at the 31st session of the executive body on thursday, 13 december 2013 (sic) provisional, unedited consolidated version. UNECE, Press Releases, Air Convention Parties adopt more stringent controls of heavy metals emissions and measures to help Parties from Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia to join in Published: 19 December 2012.

[25] 34 États parties au 24-02-2018, dont l'Union européenne.

[26] Il existe par ailleurs une Convention mondiale sur le mercure (Convention de Minamata sur le mercure) qui a été conclue en 2013 et qui est en vigueur depuis le 16 août 2017; cette convention entend réglementer tout le cycle de vie du produit de l'extraction à la gestion des déchets. Sur le Protocole d'Aarhus, voir : Emmanuel Fiani, « Protocole d'Aarhus sur les métaux lourds : un processus de révision déjà en marche », - Air Pur N° 75 - Deuxième semestre 2008, p.42 [http://www.appanpc.fr/_docs/7/fckeditor/file/Revues/AirPur/Airpur_75_Fiani.pdf]. Consulté le 7 mars 2018.

[27] UN, Economic and Social Council.Economic Commission for Europe. Executive body for the convention on long-range transboundary air pollution progress in activities in 2009 and future work measurements and modelling (acidification, eutrophication, photooxidants, heavy metals, particulate matter and persistent organic pollutants). ECE/EB.AIR/GE.1/2009/15 23 June 2009, p.7 : « For heavy metals, the level- 2 programme includes air concentrations of cadmium (Cd) and lead (Pb) (with copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As), chromium (Cr) and nickel (Ni) as a secondary priority) and mercury (Hg) in air and precipitation ».[http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2009/EB/ge1/ece.eb.air.ge.1.2009.15.e.pdf].C

EMEP) créé dans le cadre de la Convention PALD.[28]. Bien qu'il fasse partie des substances à surveiller au titre de la Convention de 1979, il ne semble pas poser le même type de problématiques que d'autres polluants et est, par conséquent, exclu des listes de polluants qui accompagne la Convention et ses protocoles et pour lesquelles des valeurs limites sont déterminées.

3.2 L'existence d'une valeur guide scientifique de l'OMS, sans force obligatoire

L'Organisation Mondiale de la Santé (ci-après nommée «OMS») est une institution spécialisée des Nations Unies qui a pour mandat global d'amener tous les peuples au plus haut niveau de santé possible. Elle réalise notamment des études dans le domaine de la santé. Depuis 1987, elle publie des lignes directrices (*Air quality guidelines*) relatives à la qualité de l'air[29]; celles -ci ne sont pas des normes obligatoires qui obligent les États, mais bien le résultat de recherches fondées sur des données scientifiques et destinées à informer les décideurs publics dans l'élaboration de leurs politiques visant à prévenir la pollution de l'air. Il est très important de souligner ici que les recommandations de l'OMS, contrairement à ce qui peut être décidé au sein d'instances gouvernementales, ne tiennent pas compte de facteurs tels que la faisabilité technique, des considérations économiques et d'autres facteurs politiques et sociaux[30]. On comprend ainsi que les objectifs de qualité de l'air ambiant qu'un État peut se donner, s'ils visent à assurer la protection de l'environnement et de la santé humaine, le font dans une mesure techniquement et économiquement réalisable, ainsi que socialement et politiquement acceptable.

---

onsulté le 19 mars 2018. Le Programme EMEP fait la collecte de données relatives aux émissions dans 30 pays, mesure des polluants dans l'atmosphère à travers un réseau de 130 stations et se livre à la modélisation du transport atmosphérique et des dépôts de polluants atmosphériques.

[28] Protocole à la Convention de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, relatif au financement à long terme du programme concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP). Conclu à Genève le 28 septembre 1984.

[29] *Air quality guidelines for Europe*. Copenhague, Bureau régional de l'Organisation mondiale de la Santé pour l'Europe, 1987 (Publications régionales de l'OMS, European Series, N° 23). *Air quality guidelines for Europe*, deuxième édition. Copenhague, Bureau régional de l'Organisation mondiale de la Santé pour l'Europe, 2000 (Publications régionales de l'OMS, European Series, N° 91). *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre.* Mise à jour mondiale 2005 Synthèse de l'évaluation des risques. Copenhague 2005. World Health Organization, *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report,* 2013. [http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1].

[30] World Health Organization, *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report,* 2013, p.4. [http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1].

On ne doit donc pas se surprendre si les valeurs OMS sont parfois plus strictes que les règlements nationaux, même si elles sont considérées comme des valeurs de références à atteindre.

L'OMS s'est ainsi intéressée au nickel dans ses valeurs guides de 2000. Elle publiait alors les résultats d'études sur le nickel[31], notamment des études réalisées en Norvège sur des travailleurs d'usine de raffinage de nickel de Nickelverk et portant sur le cancer du poumon.[32] Dans son évaluation globale, l'OMS écrit ceci :

> (Traduction)- Les composés du nickel sont cancérogènes pour les humains suite à une exposition par inhalation. Les données actuelles proviennent d'études sur des populations humaines exposées professionnellement. En supposant une dose-réponse linéaire, aucun niveau sûr pour les composés de nickel ne peut être recommandé. Sur la base des informations les plus récentes sur l'exposition et les risques estimés dans les populations industrielles, un risque supplémentaire de 3,8 × 10^{-4} peut être donné pour une concentration de nickel dans l'air de 1 µg / m^3. Les concentrations correspondant à un risque de surexploitation de 1:10 000, 1: 100 000 et 1: 1 000 000 sont d'environ 250, 25 et 2,5 ng / m^3 respectivement[33]

On doit comprendre[34] que ce que l'OMS tente de calculer, c'est la probabilité d'apparition d'un cancer pour une personne qui respirerait durant toute sa vie de l'air ayant une concentration de 1 microgramme de nickel par mètre cube d'air; on parle du facteur de risque

---

[31] World Health Organization Regional Office for Europe, *Air quality Guidelines for Europe*, Second edition, Copenhagen 2000, chapitre 6, p 162-165, à la p.164.

[32] Les études citées par l'OMS sont : Andersen, A. "Recent follow–up of nickel refinery workers in Norway and respiratory cancer". In: Nieboer, E. & Nriagu, J.O., ed. *Nickel and human health*. New York, Wiley, 1992, pp. 621–628. . Andersen, a. et al. "Exposure to nickel compounds and smoking in relation to incidence of lung and nasal cancer among nickel refinery workers. Occupational and environmental medicine, 53: 708–713 (1996). Nous ignorons si ces études ont été mises à jour.

[33] (Texte original) - *Nickel compounds are human carcinogens by inhalation exposure. The present data are derived from studies in occupationally exposed human populations. Assuming a linear dose–response, no safe level for nickel compounds can be recommended. On the basis of the most recent information of exposure and risk estimated in industrial populations, an incremental risk of 3.8 × 10^{-4} can be given for a concentration of nickel in air of 1 µg/m^3. The concentrations corresponding to an excess lifetime risk of 1:10 000, 1:100 000 and 1: 1 000 000 are about 250, 25 and 2.5ng/m^3, respectively.*

[34] Cette lecture est basée sur deux documents produits par le Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre le changements climatiques : Direction des avis et des expertises, « Historique de la révision de la norme du nickel », 2017-06-07; Direction des renseignements, de l'accès à l'information et des plaintes sur la qualité des services, « Demande d'accès no 2017-01-68- Lettre réponse » en date du 26 janvier 2017.

unitaire[35] comme étant la probabilité de cas additionnels d'apparition du cancer par 1 microgramme (1ug/m^3). Pour un niveau de risque d'un cas de cancer pour 1,000,000 de personnes, la concentration maximale doit être de 2.5 ng/m^3 ou 0,0025ug/m^3. Le risque le moins élevé étant d'un cas sur 1 million d'individus, la norme scientifique retenue est donc de 0,0025 ug/m^3 ou 2.5ng/m3 comme norme annuelle.

À notre connaissance et sauf erreur, l'OMS n'a pas produit d'études qui définiraient une norme pour empêcher l'apparition d'effets irritants ou de maladies chroniques causées par de trop fortes concentrations de nickel dans l'air ambiant, sur des plus courtes périodes de temps.

À titre de rappel et comme nous le savons déjà, le critère québécois de qualité de l'air adopté en 2002 était de 0,002 ug/m^3 comme moyenne annuelle et correspondait alors à la norme OMS de 2000. En 2011, la norme québécoise est modifiée pour se détacher de la norme OMS puisqu'elle fut portée à 12ng/m^3 en moyenne annuelle. En 2013, la moyenne annuelle est abandonnée au profit d'un calcul sur une période de 24 heures et d'une valeur limite de 14ng/m^3; on[36] estime toutefois que la nouvelle norme de 14ng/m^3 sur 24 heures est équivalente à la norme OMS de 2000 et au critère québécois de 2002, soit 0,002ug/m^3.

4. Le Québec

4.1 La norme nickel pour l'air ambiant (norme RAA)

L'air ambiant désigne généralement l'air extérieur de la troposphère, à l'exclusion des lieux de travail[37]. Une telle distinction est reconnue au Québec, puisque l'art. 1 de la LQE définit l'atmosphère comme « l'air ambiant qui entoure la terre à l'exclusion de l'air qui se trouve à l'intérieur d'une construction ou d'un espace souterrain ». C'est la raison pour laquelle il ne sera pas tenu compte, pour les fins de cette étude du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*

---

[35] Voir : Walsh P. et al., 2004. *Avis sur l'arsenic dans l'air ambiant à Rouyn-Noranda,* Direction du suivi de l'état de l'environnement, envirodoq no EN/2004/0293, rapport n QA/48, 23p. à la p. 14 : « L'EPA et l'OMS ont ainsi élaboré ce qu'on appelle un risque unitaire, c'est-à-dire un niveau de risque (probabilité d'apparition d'un effet) correspondant à une exposition à une concentration moyenne de 1 µg/m3 durant toute une vie ». [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/rouyn-noranda/arsenic.pdf]. Consulté le 8 mars 2018. Voir aussi : European Commission, *Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds Position Paper. Final Version,* 2001, p.163 [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/pp_as_cd_ni.pdf]. Consulté le 8 mars 2018.

[36] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques : Direction des avis et des expertises, « Historique de la révision de la norme du nickel », 2017-06-07.

[37] Voir par exemple la ***Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe :*** l'air ambiant y est défini comme étant « l'air extérieur de la

(chapitre S-2.1, r. 13) et du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines* (chapitre S-2.1, r. 14). On doit souligner cependant, comme le Ministère lui-même[38], que toutes les activités relatives à la construction et à l'exploitation minière sont assujetties aux normes d'émission du *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (art. 9 et 10) qui fut adopté dans le cadre de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE).

Depuis le 11 décembre 2013, la norme actuelle, telle que définie par les annexes G et K du *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère*, est de 14 nanogrammes (ou 14 ng/m3) ou 0,014 µg/m^3 (microgrammes) par mètre cube d'air, calculés sur une période de 24 heures, soit l'intervalle de temps sur lequel la norme est basée et mesurée dans des particules de 10 microns et moins (PM_{10}). La norme antérieure, adoptée en 2011, était de 6 µg/m^3 sur une base horaire et de 0,012 µg/m^3 sur une période annuelle et mesurée dans les particules en suspension totale (PST).

La norme actuelle doit être replacée dans son contexte général, tel que défini par la *Loi sur la qualité de l'environnement* (L.R.Q., c. Q-2) et le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (L.R.Q., c. Q-2, r. 4.1).

4.1.1 Contexte général

En vertu de la *Loi sur la qualité de l'environnement* du Québec[39], (ci-après «LQE»): « [t]oute personne a droit à la qualité de l'environnement, à sa protection et à la sauvegarde des espèces vivantes qui y habitent, dans la mesure prévue par la présente loi, les règlements, les ordonnances, les approbations et les autorisations délivrées en vertu de l'un ou l'autre des articles de la présente loi » (art. 19.1). Cet article 19.1 élargit l'intérêt pour agir en justice de toute personne fréquentant le voisinage d'un lieu où a lieu une atteinte à l'environnement. Toutefois, plusieurs conditions doivent être respectées pour qu'un individu puisse porter un recours devant les tribunaux, sur le fondement de l'article 19.1, notamment la nécessité de

troposphère, à l'exclusion des lieux de travail tels que définis par la directive 89/654/CEE, auxquels s'appliquent les dispositions en matière de santé et de sécurité au travail et auxquels le public n'a normalement pas accès ».

[38] Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Guide d'instructions. Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions anthropiques. Projets miniers*, Février 217, 94 pages, p.10. [En ligne]. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/index.htm (page consultée le 21 février 2018].

[39] Lois du Québec, ch. Q-2.

démontrer que la personne qui porte atteinte à son droit à la qualité de l'environnement ne respecte pas le certificat d'autorisation qui lui a été délivré en vertu de la LQE.

Depuis 2006, le législateur québécois a ajouté le nouvel article 46.1 à la *Charte des droits et libertés de la personne* (L.R.Q., c. C-12, ci-après «Charte québécoise»), qui est libellé comme suit :

> «46.1 Toute personne a droit, dans la mesure et suivant les normes prévues par la loi, de vivre dans un environnement sain et respectueux de la biodiversité».

Tout comme pour l'article 19.1 de la LQE, la portée de ce nouveau droit à un environnement sain est relative. Il est tout d'abord intégré dans le Chapitre IV consacré aux droits économiques et sociaux et ne bénéficie pas du statut de droit quasi-constitutionnel que confère l'article 52 de la Charte aux normes prévues dans les articles 1 à 38 de la Charte et qui interdit au législateur d'y déroger sauf mention expresse dans la loi. Ensuite, le libellé est nuancé par les mots «dans la mesures prévues par la loi», ce qui en limite la portée.[40] Toutefois, le fait pour le législateur d'avoir introduit ce droit dans la Charte vise à reconnaître l'importance que lui accorde le législateur, lequel revêt désormais une «place privilégiée dans la hiérarchie des normes» dont l'interprétation judiciaire pourrait lui donner une certaine interprétation avantageuse dans la futur, et dont l'effectivité peut aussi, et peut-être surtout, dépendre de la volonté du législateur québécois d'entreprendre la révision de ses lois en fonction de ce droit.[41]

La LQE ne reconnaît pas formellement le droit de chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé, mais la réglementation actuelle contient des dispositions fondées sur la reconnaissance partielle et implicite ce droit.

L'article 20 LQE déclare que : « [n]ul ne doit émettre, déposer, dégager ou rejeter ni permettre l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement d'un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement ». Il prescrit

[40] Jean Baril, *Le BAPE devant les citoyens, Pour une évaluation environnementale au service du développement durable*, Presses de l'Université Laval, 2006, pp. 79-80.

[41] Voir à ce sujet, Christian Brunelle, «Les droits et libertés fondamentaux», *Droit public et administratif*, vol. 7, Collection dedroit 2004-2005, Cowansville, Éditions Yvon Blais, 2004, p. 28.

aussi que « [la] même prohibition s'applique à l'émission, au dépôt, au dégagement ou au rejet de tout contaminant, dont la présence dans l'environnement est prohibée par règlement du gouvernement ou est susceptible de porter atteinte à la vie, à la santé, à la sécurité, au bien-être ou au confort de l'être humain, de causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité du sol, à la végétation, à la faune ou aux biens » (Nos soulignés).

L'article 22 LQE exige un certificat d'autorisation ministérielle de toute personne qui veut « ériger ou modifier une construction, entreprendre l'exploitation d'une industrie quelconque, l'exercice d'une activité ou l'utilisation d'un procédé industriel ou augmenter la production d'un bien ou d'un service s'il est susceptible d'en résulter une émission, un dépôt, un dégagement ou un rejet de contaminants dans l'environnement ou une modification de la qualité de l'environnement ».

La loi donne d'importants pouvoirs de réglementation au gouvernement, à ce chapitre. Ce dernier peut en effet adopter des règlements, notamment pour : c) prohiber, limiter et contrôler les sources de contamination de même que l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement de toute catégorie de contaminants pour l'ensemble ou une partie du territoire du Québec; d) déterminer pour toute catégorie de contaminants ou de sources de contamination une quantité ou une concentration maximale permissible d'émission, de dépôt, de dégagement ou de rejet dans l'environnement pour l'ensemble ou une partie du territoire du Québec; e) définir des normes de protection et de qualité de l'environnement ou de l'une de ses parties pour l'ensemble ou une partie du territoire du Québec » (art. 31 L.Q.E.). C'est sur cette base qu'a été adopté le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère*[42], (ci-après RAA).

Ce règlement est entré en vigueur le 30 juin 2011. Sauf exception, il remplace[43] le *Règlement sur la qualité de l'air* qui avait été adopté en 1979 et il s'applique à toute source de contamination de l'atmosphère sur tout le territoire québécois. Il vise « l'ensemble des sources fixes d'émission de contaminants atmosphériques issues des activités industrielles, commerciales et institutionnelles[44] », sauf sur l'île de Montréal où s'applique le *Règlement 2001-10 de la Communauté métropolitaine de Montréal*[45].

[42] Chapitre Q-2, r 4.1.
[43] Art. 215, RAA.
[44] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction de l'analyse et des instruments économiques. Avis économique. Projets de règlement modifiant le

Selon l'article premier du *Règlement sur la qualité de l'air*, il a pour objet « d'établir des normes d'émission de particules et de gaz, des normes d'opacité des émissions, des normes de qualité de l'atmosphère, ainsi que des mesures de contrôle pour prévenir, éliminer ou réduire l'émission de contaminants dans l'atmosphère » et qui sont à l'origine du smog, des pluies acides et des pollutions toxiques diverses qui portent atteinte à la santé publique. Il réglemente notamment les émissions en provenance des industries du fer et de l'acier, du cuivre, du zinc, de l'amiante, du plomb, des cimenteries, des alumineries, des raffineries de pétrole, des composés organiques volatils, des appareils de combustion, etc. Les activités relatives à la construction et à l'exploitation des mines sont assujetties aux normes d'émission du RAA. Pour l'ensemble du Québec et pour l'année 2013, ce sont plus de 200 grandes entreprises et plus de 4500 petites et moyennes entreprises qui sont concernées par ce Règlement[46].

4.1.1.1 Valeurs limites et normes de qualité de l'atmosphère

D'une manière générale, le RAA prescrit des **valeurs limites d'émission** à la source pour un grand nombre de procédés ou d'activités. L'art. 3 du RAA définit la valeur limite d'émission comme étant « la masse, exprimée en fonction de certains paramètres, la concentration, le taux ou le niveau d'une émission à ne pas dépasser au cours d'une ou de plusieurs périodes données ou qui, dans les cas prévus par certaines dispositions du présent règlement, ne peut être dépassé qu'aux conditions prescrites par ces dispositions ».

Au sens de l'article 3 du RRA, la définition du terme «valeur limite d'émission», englobe à la fois :

1) Les «concentrations» dans l'air ambiant qui sont des normes de qualité de l'air ambiant, et

---

Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère, le Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement, le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles et le Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers. Le 24 mai 2013, [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/lqe/renforcement/Avis-econo-projets-20130524.pdf] Consulté le 27 février 2018.

[45] Michel Goulet et Martin Lecours, *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère. Pour une meilleure protection de la qualité de l'air*, 2011. « Seules les sources d'émissions résidentielles, ainsi que les sources situées sur l'île de Montréal (où s'applique le Règlement 2001-10 de la Communauté métropolitaine de Montréal), ne sont pas régies par cette nouvelle règlementation. » [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/atmosphere/articleRAA-201109pdf.pdf]]. Voir *infra*, section 1.1.3.

[46] *Supra* note 6.

2) «des taux ou des niveaux d'une émission à ne pas dépasser» et qui sont des seuils d'émission à la source (de procédés ou d'activités) à ne pas dépasser pour certains métaux.

Le RAA ne prescrit pas de seuils d'émission à la source (de procédés ou d'activités) pour le nickel. Il ne prescrit que des concentrations dans l'air ambiant, c'est-à-dire des normes pour la présence du nickel dans les PM 10 dans l'air ambiant.

Bien que le RAA ne spécifie pas de valeurs limites d'émission pour les sources de procédés ou d'activités le nickel pour des sources de procédés ou d'activités, les annexes G et K du RAA prescrivent des valeurs limites pour certains métaux ou métalloïdes dans l'atmosphère, applicables dans l'air ambiant à l'extérieur de la limite de propriété de l'entreprise émettant le contaminant.

L'article 196 RAA déclare que « les normes de qualité de l'atmosphère pour l'ensemble du territoire du Québec sont celles prescrites à l'annexe K ». Ces dernières sont des « concentrations maximales (en µg/m3) exprimées pour différents intervalles de temps soit annuel, journalier, horaire ou 4 minutes[47] ».

L'article 197 RAA précise qu'à compter du 30 juin 2011, il est interdit « de construire ou de modifier une source fixe de contamination ou d'augmenter la production d'un bien ou d'un service s'il est susceptible d'en résulter une augmentation de la concentration dans l'atmosphère d'un contaminant mentionné à l'annexe K au-delà de la valeur limite prescrite pour ce contaminant à la colonne 1 de cette annexe ou au-delà de la concentration d'un contaminant pour lequel cette valeur limite est déjà excédée ». Le nickel est compris dans la liste des éléments énumérés à l'annexe K.

Pour chaque contaminant, on trouve une valeur limite de concentration dans l'atmosphère (exprimée en µg/m3), et une valeur par défaut de concentration initiale qui est celle déjà présente dans l'air ambiant avant la réalisation d'un projet particulier, comme nous allons maintenant le voir.

---

[47] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2014. *Guide d'application du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (chapitre Q-2, r 4.1), Québec, ISBN 978-2-550-72528-2, 460 p., à la p. 395.

A) La concentration initiale

L'Annexe K (RAA) intitulée « *Normes de qualité de l'atmosphère définit des concentrations limites dans l'air ambiant pour plus d'une centaine de polluants*» et définit aussi des valeurs, au regard de chaque polluant, pour la pollution déjà existante dans l'air ambiant avant la réalisation d'un projet industriel quelconque. C'est ce qu'il convient de nommer la concentration initiale qui vient s'ajouter à la concentration prévue pour un projet nouveau. Dans le cas du nickel, cette concentration initiale est de 0,002 µg/m^3. La somme de la concentration initiale et de la concentration estimée pour un projet particulier doit demeurer en deçà de la concentration limite qui est de 14 ng/m^3 d'air ambiant, pour ce qui est du nickel.

L'art. 202 RAA rappelle en effet que :

> « [l]a concentration d'un contaminant dans l'atmosphère est calculée en fonction de la concentration initiale révélée par les résultats d'échantillonnage effectués ou validés par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs pour la totalité ou une partie des 3 années précédentes et prélevés sur le site de la source fixe de contamination ou dans un milieu comparable, ou, à défaut de résultats d'échantillonnage disponibles pour cette période, en fonction de la concentration initiale mentionnée pour ce contaminant à la colonne 2 de l'annexe G ou K, selon le cas ».

On comprend dès lors que la concentration initiale déterminée aux annexes G et K sont des concentrations par défaut.

L'Annexe H du RAA précise que :

> «[l]es concentrations initiales des contaminants dans l'atmosphère, sans la contribution de la ou des sources considérées pour la modélisation, doivent être ajoutées aux concentrations calculées. Les concentrations résultantes doivent être présentées de manière à les comparer avec les valeurs limites prescrites aux annexes G et K ».

On comprend dès lors que « la somme de la concentration initiale et de la contribution de la source d'émission doit être inférieure à la norme ou au critère correspondant »[48].

La concentration initiale, dans le Règlement de 2011, était de 0,001 µg/m^3 pour 1 an et 0,25 µg/m^3 pour 1 heure. Elle a été modifiée en 2013 et rapportée à 0,002 µg/m^3 (2 ng/m^3) sur une période de 24 heures, mesurée dans les PM_{10}. La documentation[49] en provenance du ministère constate que « [l]a grande majorité des résultats dans l'ensemble des sites de mesure du Québec se situent sous la détection de 0,003ug/m3 de la méthode » et que la concentration initiale de 0,002 ug/m^{3}est déterminée sur la base de ces résultats. Il semble par ailleurs admis que les valeurs définies aux annexes G et K sont généralement considérées comme étant « représentatives de milieux industrialisés ou de milieux urbanisés, ce qui leur confère un caractère conservateur[50] ».

De fait, en considérant une concentration initiale de 2 ng/m^3, la contribution maximale journalière de nickel d'un nouveau projet devient *de facto* 12 ng/m^3 pour respecter la norme d'air ambiant de 14 ng/m^3.

B) La norme montréalaise

L'article 196 RAA déclare que « [l]es normes de qualité de l'atmosphère pour l'ensemble du territoire du Québec sont celles prescrites à l'annexe K ». Il omet de mentionner que, sur l'île

---

[48] [Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2016. Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère, version 5, Québec, Direction des avis et des expertises, ISBN 978-2-550-77015-2 (PDF), 29 p. 2016 [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/Normes-criteres-qc-qualite-atmosphere.pdf]. Voir la définition donnée par le Rapport produit pour l'Administration portuaire du Saguenay : « Le niveau ambiant (ou concentration initiale) représente la concentration préexistante d'un contaminant dans l'air ambiant. Afin de vérifier le respect des normes et critères, la concentration initiale doit être ajoutée aux concentrations modélisées pour le projet. Dans le domaine d'application des normes et critères, la somme de la concentration initiale et des concentrations modélisées doit ainsi être inférieure à la norme ou au critère pour chacun des contaminants ». WSP. 2017. *Terminal maritime en rive nord du Saguenay, Modélisation de la dispersion atmosphérique* – Révision 2. Rapport produit pour Administration portuaire du Saguenay.

[49] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction des renseignements, de l'accès à l'information et des plaintes sur la qualité des services. Demande d'accès no 2017-01-68. Lettre réponse. Le 26 janvier 2017. [http://www.demandesinfos.mddelcc.gouv.qc.ca/dossiers/air/4721_fiche.pdf]. Consulté le 22 février 2018.

[50] Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Guide d'instructions. Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques Projets miniers. Février 2017, p.27.

de Montréal, le règlement québécois n'a pas d'application et que cette situation s'explique historiquement.

En effet, la ville de Montréal a adopté son premier *règlement sur la pollution de l'air (Règlement 56)*, en 1872, pour limiter les fumées noires issues du charbon mal brûlé et qui préoccupaient les villes. Ce règlement visait à réduire la suie et les particules totales. En 1970, la *Loi sur la Communauté urbaine de Montréal* (chapitre C-37.2) est adoptée et confère à la CUM les pouvoirs de réglementation, entre autres, sur l'épuration des eaux et sur l'assainissement de l'air pour l'ensemble de l'île de Montréal. À cette époque, le ministère de l'Environnement n'existe pas encore dans la province. Le *Règlement sur l'assainissement de l'air* est adopté en vertu de l'article 133 (1) de cette loi qui permet au Conseil de la CUM de « régir ou prohiber l'émission dans l'atmosphère de substances susceptibles de constituer un polluant et, notamment, déterminer pour toute catégorie de telles substances la quantité ou la concentration maximale dont l'émission dans l'atmosphère est permise». Ce règlement ne prévoit alors aucune norme sur le nickel. Il faut attendre 1978 pour l'adoption d'un règlement prévoyant un ensemble de normes pour différents polluants incluant les composés solubles du nickel. En 1979, le ministère de l'Environnement est créé. En 1981, par décret gouvernemental, une entente est conclue entre le ministère de l'Environnement et la CUM pour déléguer à cette dernière les responsabilités en assainissement de l'air sur son territoire, en contrepartie du remboursement total des coûts afférents aux activités relatives à l'assainissement de l'air. En 1986, le *Règlement 90 relatif à l'assainissement de l'air* est adopté par la CMM et prévoit des normes spécifiques sur le nickel (métal). Au cours des années suivantes, ce règlement subit différentes modifications mais qui ne touchent pas les normes sur le nickel qui ont été adoptées en 1986.[51] En 2000, la *Loi sur la Communauté urbaine de Montréal* est abrogée et remplacée par la *Loi sur la Communauté métropolitaine de Montréal* (CMM) (chapitre C-37.01). Le *Règlement 90 relatif à l'assainissement de l'air* ne continue toutefois à s'appliquer que dans l'agglomération de Montréal et son application est déléguée à la ville de Montréal.[52] La norme québécoise s'applique au reste du territoire de la CMM.

[51] Voir ces modifications en ligne : [http://cmm.qc.ca/champs-intervention/environnement/programmes-et-reglements-en-environnement/reglementation-sur-lassainissement-de-latmosphere/].

[52] *Règlement sur les rejets à l'atmosphère et sur la délégation de son application* (nº 2001-10). *Règlement 2001-10 de la Communauté métropolitaine de Montréal*. Ce règlement a été adopté par le Conseil le 14 novembre 2001 par la

Les articles 3.01 et 3.03 du *Règlement 90 sur l'assainissement de l'air* (*Règlement 2001-10* de la Communauté métropolitaine de Montréal) se lisent ainsi :

> 3.01. Il est interdit d'émettre ou de laisser émettre d'une cheminée un agent polluant mentionné au tableau 3.01 en quantité telle que la concentration C, déterminée selon la formule 3.01a), dépasse la valeur A, indiquée pour 0,25 heure au tableau, pour toute vitesse de vent égale ou supérieure à 2,0 mètres par seconde.
>
> 3.03. a) Il est interdit d'émettre ou de laisser émettre à l'atmosphère un agent polluant mentionné au tableau 3.01 en quantité qui contribue à porter sa concentration mesurée, durant une période donnée hors des limites de la propriété d'où il émane, au-delà de la valeur moyenne B correspondant à cette période. (…)

Pour le nickel, les normes du *Règlement 90 sur l'assainissement de l'air* varient selon le composé spécifique et selon la période de temps.

Pour le nickel composé soluble exprimé en Ni, les valeurs sont de 0,015 ug/m^3 pour 8 heures, de 0,03 pour 1 heure et de 0,045 pour 15 minutes (0.25 h). Pour le nickel (métal), les valeurs sont de 5 ug/m^3 pour 8h, de 9,6 ug/m^3 pour 1 heure et de 15 ug/m^3 pour 15 minutes (0.25 h). Pour le nickel carbonyle, les valeurs sont de 1,5 ug/m^3 pour 8 heures, de 1,5 ug/m^3 pour 1 heure et de 1,5 ug/m^3 pour 15 minutes (0.25 h).

Dans tous les cas, seule la norme pour 15 minutes est une valeur A, de sorte qu'elle est similaire à une norme d'émission, calculée à partir d'un échantillonnage dans la cheminée, alors

---

résolution CC01- 0098, et approuvé le 12 décembre 2001 par le ministre d'État à l'Environnement et à l'Eau; il est entré en vigueur le 1er janvier 2002. Aux termes de l'art.159.1 de l'actuelle *Loi sur la Communauté métropolitaine de Montréal* (chapitre C-37.01), la Communauté peut, par règlement : 1° régir ou prohiber l'émission dans l'atmosphère de substances susceptibles de constituer un polluant et, notamment, déterminer pour toute catégorie de telles substances la quantité ou la concentration maximale dont l'émission dans l'atmosphère est permise. Elle peut, par règlement approuvé par le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, déléguer à une ou plusieurs municipalités de son territoire tout ou partie des compétences et pouvoirs prévus à la présente section. Cette délégation a été faite pour l'agglomération de Montréal qui devient ainsi responsable de son application.

que la valeur pour 1 heure et pour 8 heures sont des valeur B qui sont des valeurs mesurées dans l'air ambiant.

Comme on peut le constater, pour le nickel, la norme montréalaise n'est pas identique à la norme québécoise de 0,014 ug/m^3 sur 24 h qui est applicable partout ailleurs au Québec. Toutefois, d'après nos recherches, il semble que le suivi et le contrôle du respect des valeurs applicables sur le territoire de l'agglomération de Montréal soient plus serrés. Sur un plan général, la ville de Montréal possède un réseau de surveillance de qualité de l'air, composé d'une quinzaine de stations d'échantillonnage qui mesurent les divers polluants atmosphériques, notamment le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, le dioxyde d'azote, le monoxyde d'azote, l'ozone, les particules en suspension totale (PST), les PM $_{2,5}$, les composés organiques volatils (COV) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Pour ce qui est spécifiquement des analyses de nickel dans l'air ambiant, les analyses de différents métaux sont faites aux 5 ans par Environnement et Changement climatique Canada sur les particules à partir des filtres recueillies dans une station d'échantillonnage de la qualité de l'air ambiant située dans l'Est de l'île de Montréal.

4.2 La norme nickel dans le temps

Historiquement, et tel qu'en fait foi le premier *Règlement sur la qualité de l'air* adopté en 1979, le Québec s'est surtout attaché à contrôler les émissions d'ozone, d'anhydride sulfureux, de monoxyde de carbone, de dioxyde d'azote, d'hydrogène sulfuré ainsi que celles constituées par des matières particulaires créées par des retombées de poussière ou par des fumées d'usine et de raffineries. Il s'est notamment intéressé aux industries de l'amiante, du plomb, du fer et de l'acier[53]. Ce n'est qu'en 2002 que le Québec s'est intéressé au nickel. Une première norme nickel a été adoptée en 2002. Elle a été ensuite modifiée en 2011 et en 2013.

Il est important de noter que la pratique gouvernementale québécoise, en matière environnementale, distingue entre un critère de qualité de l'air ambiant et une norme de qualité d'air ambiant. Une norme de qualité de l'atmosphère est une « concentration limite dans l'air ambiant pour un contaminant intégrée dans le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère

[53] Voir le *Règlement sur la qualité de l'air,* adopté en 1979.

(chapitre Q-2, r. 4.1)[54]» ; elle a, par conséquent, une force obligatoire. Un critère de qualité de l'atmosphère est « concentration limite dans l'air ambiant pour un contaminant qui est établie à un niveau de risque négligeable[55] ». Même s'il ne fait partie du RAA, il garde cependant toute sa force obligatoire puisque l'alinéa 2 de l'art. 20 LQE vise tout autant le contaminant visé par un règlement que celui qui, en l'absence de seuils réglementaires d'émission[56], est « susceptible de porter atteinte à la vie, à la santé, à la sécurité, au bien-être ou au confort de l'être humain, de causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité du sol, à la végétation, à la faune ou aux biens ».

4.2.1 Le critère de 2002

Le critère québécois de 2002 pour le nickel était de 6 ug/m^3 ou 6000 ng/m^3 pour 1 heure, semblable à ce qui existait en Californie[57]. Ce critère horaire de 6 ug/m^3 a été retenu pour tenir compte des effets immunotoxiques immédiats du nickel, comme l'irritation des voies respiratoires, quand sa concentration est élevée[58]. Ce critère de 6 µg/m^3 pour 1 heure a été importé de la Californie sur la base du niveau de référence d'exposition aiguë (Acute exposure reference level) qui avait été adopté par cet État américain[59]. La moyenne annuelle de 2 nanogrammes par mètre cube d'air est fondée sur une évaluation du risque de développer un cancer du poumon pour une personne qui respirerait toute sa vie durant un microgramme par mètre cube; on considère qu'à 0,002ug/m^3, le risque est nul ou négligeable[60].

---

[54] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (2017). *Normes et critères de qualité de l'atmosphère du Québec : Cadre de détermination et d'application*, Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN : 978-2-550-79483-7 (PDF), 18 p., p.1 [En ligne]. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/index.htm.

[55] *Ibid.*

[56] *Alex Couture Inc.* c. *Piette*, [1990] R.J.Q. 1262 (C.A.).

[57] Voir ci-dessous, section 2.1.

[58] Problèmes d'asthme, d'allergies et de dermatite notamment. Voir : Direction régionale de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale, *Contamination atmosphérique dans l'arrondissement la Cité-Limoilou : la question du nickel. Avis de santé publique*, avril 2013.

[59] *Ibid.*

[60] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction des avis et des expertises, « Historique de la révision de la norme du nickel » 2017-06-07. Le choix du critère est fondé sur des études de l'OMS ainsi que sur la pratique gouvernementale américaine (EPA, Californie).

La distinction entre une «norme» et un «critère» est établie de la manière suivante, en droit québécois, sur cette question :

«Les normes et critères ont été conçus pour l'évaluation des mesures de la qualité de l'air et pour l'étude des projets générant des émissions de contaminants atmosphériques qui sont soumis pour autorisation au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Les critères sont des seuils de référence que le Ministère utilise dans le cadre d'une évaluation ou de la délivrance d'un acte administratif en vertu de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE). Par ailleurs, on désigne un seuil de référence par le terme « norme » lorsque celui-ci est inscrit dans le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (RAA)».[61]

4.2.2 La norme de 2011

Ce n'est que depuis 2011 que la norme nickel d'air existe dans le RAA. Le nouveau règlement « introduit de nouvelles normes de qualité de l'air ambiant pour plus de 80 contaminants[62] » et cible « surtout les métaux lourds et les composés organiques volatils (COV) [63]». Le nickel fait partie des métaux lourds, comme le mercure, l'aluminium, le plomb, l'arsenic, le cadmium et l'antimoine.

Le critère de 2002 (6 µg/m3 pour 1 heure) a été maintenu, mais la moyenne annuelle passe de 0,002 µg/m^3 pour un an à 12 nanogrammes (0,012ug/m^3) par mètre cube, mesuré dans les PST. La raison de ce changement, selon la documentation du ministère, «est principalement le manque d'information sur les concentrations de nickel dans l'environnement au Québec et la volonté donc, de ne pas fixer une norme qui soit impossible à respecter par d'éventuelles entreprises qui pourraient produire des émissions de nickel dans l'air ». [64] Le ministère évalue

[61] Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2016. Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère, version 5, Québec, Direction des avis et des expertises.

[62] Michel Goulet et Martin Lecours, Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère, MDDEP, « Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère Pour une meilleure protection de la qualité de l'air » [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/atmosphere/articleRAA-201109pdf.pdf].

[63] *Ibid*.

[64] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction des avis et des expertises, « Historique de la révision de la norme du nickel », 2017-06-07. Le

qu'une exposition moyenne à 0,012ug/m^3 augmente les risques de cancer à 6 cas additionnels par million d'individus, mais estime que ce risque, sans être négligeable, reste néanmoins acceptable[65].

4.2.3 La norme de 2013

En 2013, la norme nickel du RAA a été modifiée[66]. En fait, ce sont les annexes G et K de de ce règlement quiont été modifiés. C'est à la suite de l'adoption de la norme horaire nickel en Californie, en 2012, suite à de nouvelles analyses de l'*Office of Environment Health Hasard Assesment* (OEHHA) du gouvernement californien, que le Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a jugé nécessaire de modifier sa norme nickel. Le Rapport californien de 2012, intitulé *Nickel Reference Exposure Levels. Nickel and nickel compounds. nickel oxide. Reference exposure levels (RELs)* propose différentes valeurs limites en fonction des temps d'exposition et des risques identifiés : pour une heure (toxité aiguë- *Acute Reference Exposure Level (aREL)*), la valeur limite est de 0,2 ug/m^3 ou 200 ng/m^3; pour 8 heures, elle est de 0,06 ug/m^3 (60ng) et pour un an (*Chronic REL Nickel and Nickel Compounds (except NiO)*, la moyenne annuelle est établie à 0,014ug/m^3. On constate ainsi que la norme québécoise de 14ng/m^3 sur 24 heures est mathématiquement identique à la norme annuelle californienne. Une étude du MDDELCC estime que la nouvelle norme de 14ng/m^3 sur 24 heures est équivalente à la norme OMS de 2000 et au critère québécois qui avait été adopté en 2002, soit 0,002ug/m^3 sur un an.

4.2.4 Appréciation critique préliminaire

Il semble que cette modification de la norme nickel, ainsi que les autres modifications proposées aux normes de qualité de l'atmosphère, « visent à tenir compte des connaissances actuelles sur les effets toxicologiques des substances visées et des révisions qui en découlent[67] ».

---

choix du critère est fondé sur des études de l'OMS ainsi que sur la pratique gouvernementale américaine (EPA, Californie).

[65] *Ibid.*

[66] Règlement modifiant le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère, Décret 1228-2013, GAZETTE OFFICIELLE DU QUÉBEC, Partie 2, 11 décembre 2013, 145e année, no 50, p. 5525.

[67] Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, AVIS ÉCONOMIQUE. Projets de règlement modifiant le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère, le Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement, le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles et le Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers. Le 24 mai 2013

En réalité, c'est à la suite de la révision du niveau d'exposition de référence REL aigu sur 1 h du nickel en Californie, en 2012, que la norme sur le nickel a été modifiée au Québec. Après que la norme californienne ait été modifiée à la suite de nouvelles analyses de l'OEHHA de l'agence de protection de l'environnement de la Californie, qui est passée de 6 µg/m^3 à 0,2 µg/m^3, Québec décide de suivre le mouvement.

On s'est inspiré de l'approche californienne pour développer une norme de de 0,014 µg/m^3 ou 14 ng/m^3 sur 24 h.

On note que la modification du 27 novembre 2013 établit que les concentrations de nickel sont mesurées sur une période de 24 heures et non plus sur une base annuelle pour en établir une moyenne. Il est sans doute difficile de savoir si la norme de 2013 fondée sur la moyenne de 24h est plus sévère que celle fondée sur la moyenne annuelle.

Selon l'OMS, dans une étude portant les particules, pour l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre, la moyenne de 24h permet de se protéger contre des pics de pollution susceptibles de conduire à des effets néfastes, tandis que la moyenne annuelle, même si elle autorise des dépassements épisodiques, ne soulève pas de préoccupations particulières si les émissions sont de faible concentration.[68]

Un document[69] émanant du ministère et rendu public en vertu d'une demande faite dans le cadre de la *Loi sur l'accès à l'information* précise que le critère de qualité de l'air du nickel et applicable à l'ensemble des composés du nickel est établi à partir de la concentration sans effet nocif-inhalation[70] (CSEN-i) pour les effets aigus[71] (immunotoxiques). Le document déclare

---

[http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/lqe/renforcement/Avis-econo-projets-20130524.pdf], consulté le 22 décembre 2017.

[68] OMS, *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre Mise à jour mondiale 2005 Synthèse de l'évaluation des risques,* p.12 : Lorsqu'on évalue les lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air et les cibles intermédiaires, il est généralement recommandé que la moyenne annuelle prenne le pas sur la moyenne sur 24 heures puisque, à faible concentration, les expositions épisodiques sont moins préoccupantes. Le fait d'atteindre les valeurs indicatives de la moyenne sur 24 heures permettra cependant de se protéger contre les pics de pollution qui conduiraient autrement à une surmorbidité ou à une surmortalité importante.

[69] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction des renseignements, de l'accès à l'information et des plaintes sur la qualité des services. Demande d'accès no 2017-01-68. Lettre réponse. Normes et critères de la qualité de l'air : nickel et composés. Le 26 janvier 2017. [http://www.demandesinfos.mddelcc.gouv.qc.ca/dossiers/air/4721_fiche.pdf. Consulté le 22 février 2018.

[70] On comprend que cette concentration est la concentration la plus élevée d'un contaminant dans l'air sans créer pour autant l'apparition démontrée d'un effet nocif sur la santé humaine dans le cadre d'une exposition directe par inhalation. Voir : Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre

que « [l]e respect du critère (0,014 µg/m3 sur 24 heures) permet de limiter la possibilité d'effets immunotoxiques, mais aussi de limiter les effets au niveau du système respiratoire et les effets cancérigènes »[72] .

Dans le document, le ministère poursuit en expliquant que :

> « Le critère de qualité de l'air est établi à partir de la concentration la moins élevées (sic) des 4 grands types d'effets nocifs, soit les effets par inhalation (CSEN-i), les effets par expositions indirectes (CSEN-ei), les nuisances (CSNN) et les effets sur l'environnement (CSEN-e) (MENV 2002ab). Dans le cas du nickel, deux CSEN-i ont été établies pour deux effets possibles du nickel, soit un effet immunotoxique provenant d'exposition de courte durée (24 heures) et un effet cancérigène (cancer du poumon) résultant de l'exposition moyenne la vie durant. Dans le choix du critère pour le nickel, on donc a estimé que le respect d'un maximum sur 24 heures à 0,014 µg/m³ devrait permettre de limiter suffisamment l'exposition moyenne annuelle et les risques de cancer. Conséquemment, on a retenu pour le critère du nickel que la CSEN-i pour les effets immunotoxiques».

Le ministère estime que le respect de la norme de 24 h permet d'assurer le respect de l'ancienne norme annuelle qui avait été prescrite pour limiter les effets cancérigènes du nickel[73]. On calcule, sur la base d'un facteur d'équivalence de 6 entre la concentration maximale sur 24 h et la moyenne annuelle, qu'en limitant toutes les journées de l'année à un maximum de 14 ug/m^3, la moyenne annuelle devrait être autour de 2,33 ng/m^3, la norme 14 µg/m^3 sur 24h étant plus

---

les changements climatiques (2017). *Normes et critères de qualité de l'atmosphère du Québec : Cadre de détermination et d'application,* Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN : 978-2-550-79483-7 (PDF), 18 p., p.4.

[71] On pense notamment à l'asthme, bronchite chronique, inflammation pulmonaire, dermatite de contact. Voir : Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale-Nationale, Directeur de santé publique de la Capitale-Nationale,*Contamination environnementale dans le quartier Limoilou, Avis complémentaire de santé publique. Le nickel*. Septembre 2015[https://www.ciusss-capital].

[72] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction des renseignements, de l'accès à l'information et des plaintes sur la qualité des services. Demande d'accès no 2017-01-68. Lettre réponse. Normes et critères de la qualité de l'air : nickel et composés. Le 26 janvier 2017. [http://www.demandesinfos.mddelcc.gouv.qc.ca/dossiers/air/4721 fiche.pdf. Consulté le 22 février 2018.

[73] Marie-Pier Brault, Gilles Boulet, Direction des avis et des expertises, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, *Détermination et application de la norme de nickel,*15 juin 2017.

sévère que la norme 12 µg/m^3 sur une année. Selon la Direction régionale de la santé publique de la Capitale-Nationale[74], la valeur toxicologique de référence pour le cancer du poumon est de 2 ng/m^3 pour une exposition de 24 heures par jour pendant 70 ans.

Par ailleurs, il convient de mentionner que le fait de calculer la concentration de nickel sur les $PM_{10,}$ soit sur la fraction respirable des particules, et non plus sur les PST, revient à calculer les concentrations de nickel dans l'air sur une fraction seulement du total du nickel dans l'air, la concentration de métaux étant plus grande dans les PST[75]. Il apparaît ainsi que dans la mesure où la norme 2013 est jugée plus sévère[76] que celle de 2011, ses effets se trouvent adoucis par ce nouveau calcul dans les PM10 plutôt que dans les PST. C'est à la demande de l'industrie du nickel et pour se conformer à la pratique californienne que cette modification à la norme antérieure fut apportée[77]. Il resterait à examiner dans quelle mesure le calcul des concentrations sur les PM_{10} affaiblit le degré de sévérité accru qui est reconnu à la nouvelle norme de 2013[78].

4.3 Mesures de mitigation ou d'atténuation

4.3.1 Généralités

Les mesures de mitigation sont des moyens mis en œuvre pour prévenir ou pour atténuer des dommages environnementaux. Ils peuvent faire l'objet d'une réglementation précise ou être laissés à l'initiative des exploitants dans le cadre des bonnes pratiques liées à l'activité en cause. Dans l'industrie de l'amiante, on exigera par exemple que tout convoyeur extérieur, utilisé pour

---

[74] Contamination atmosphérique dans l'arrondissement la Cité-Limoilou : la question du nickel. Avis de santé publique, Avril 2013, p.12. [http://ceaa-acee.gc.ca/050/documents/p80107/116746F.pdf]. Consulté le 27 février 2018.

[75] Pierre Walsh, Ph. D., et Jean-François Brière, M. Sc. Direction du suivi de l'état de l'environnement *Origine des concentrations élevées de nickel dans l'air ambiant à Limoilou*, 18 avril 2013, p. 4. Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction des avis et des expertises, « Historique de la révision de la norme du nickel » 2017-06-07, p.6, note8.

[76] Selon Hélène Lauzon, présidente du CPE, « Ils rendent la norme sur le nickel beaucoup plus sévère», car « la norme de 12 ng calculée sur un an permettait aux entreprises d'avoir des épisodes de dépassement, puis de s'ajuster en cours de route, puisqu'elles devaient présenter une moyenne annuelle », explique Mme Lauzon. La nouvelle norme constitue « un seuil presque impossible à respecter. « Les entreprises ne savent pas comment elles y arriveront, expose Hélène Lauzon. Régys Caron, « Présence de nickel dans l'air. Québec durcit le règlement sur la présence de nickel dans l'air », *Journal de Québec*, 12 décembre 2013.

[77] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction des avis et des expertises, « Historique de la révision de la norme du nickel », 2017-06-07. Comme nous l'avons souligné, le choix de la norme de 2013 est fondé sur des études de l'OMS ainsi que sur la pratique californienne. OMS Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre Mise à jour mondiale 2005 Synthèse de l'évaluation des risques, p.12.

[78] Cet examen n'entre pas dans le champ de nos compétences. Voir les résultats de l'analyse de Mme Bouchard, experte engagée dans ce dossier.

le transport de minerai d'amiante, de concentrés d'amiante ou de résidus d'amiante, soit complètement clos (art.159 RAA) ; on exigera aussi que, dans toute mine, les résidus d'amiante soient humidifiés avant d'être déposés sur les haldes et piles (art.161RAA). On pourrait aussi exiger que tout convoyeur soit muni d'un dépoussiéreur. Certaines activités peuvent requérir le recours à l'épandage d'un abat-poussière sur les routes ; on peut obliger une exploitant à recouvrir les piles d'éléments ou limiter certaines activités selon des conditions atmosphériques défavorables, comme la direction des vents.

Comme nous l'avons déjà souligné, le nickel ne fait pas partie d'une attention spéciale dans la réglementation québécoise. Par conséquent, aucune mesure obligatoire de mitigation n'a été prévue, dans le cadre du RAA, pour minimiser les émissions polluantes en provenance de cette source.

Pour les mines de nickel, il faut s'en remettre aux bonnes pratiques générales pour les projets miniers : installation de systèmes de dépoussiérage autour des concasseurs et sur les appareils de forage, arrosage de sols asséchés, etc.

4.3.2 Projets miniers sur des terres publiques

La section 4.3 du *Guide d'instructions – Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques : projets miniers* présente l'approche applicable pour les projets qui sont situés sur des terres publiques.[79] contient des mesures intéressantes à ce chapitre. Il précise que, sur des terres publiques, « [s]i les normes et les critères de qualité de l'atmosphère ne sont pas respectés, pour un ou plusieurs contaminants, à une distance de 300 mètres et plus des installations du projet, le promoteur doit démontrer au MDDELCC que des mesures d'atténuation courantes ont été appliquées là où c'est réalisable sur les plans technique et économique ». Le Guide prévoit notamment que le promoteur doit « utiliser des équipements de réduction des émissions à l'atmosphère dont l'efficacité est connue et garantie par un fabricant » et ce tant pour « l'entreposage du matériel en vrac, le forage, le tamisage, le

[79] Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques, *Guide d'instructions, Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques. Projets miniers*, Février 2017. [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/secteur_minier.pdf]. Consulté le 26-02-2018.

concassage, le chargement et déchargement du matériel, les procédés miniers, l'utilisation de convoyeurs couverts ou souterrains, etc ».

Au-delà de 300 mètres, le Guide des projets miniers indique que « le promoteur doit démontrer que les normes et critères sont respectés aux récepteurs sensibles situés au-delà de 300 m des installations » et s'assurer « que tous les récepteurs sensibles ont été pris en compte ». Il souligne particulièrement que si des mesures d'atténuation sont nécessaires pour limiter les rejets, l'exploitant doit « prévoir comment il entend s'assurer que les efficacités des mesures appliquées (sic) seront garanties tout le long du projet » et « indiquer les paramètres de la mesure d'atténuation appliquée à la source d'émission ». Dans un tel cas, « [u]n suivi concernant l'efficacité des mesures d'atténuation employées est exigé[80] ».

4.4 Les mesures de surveillance et de contrôle

Pour assurer le respect de ces valeurs limites, le RAA établit des mesures de surveillance et de contrôle des émissions polluantes.

Les mesures de surveillance consistent en l'installation d'équipements de mesure en continu des émissions tandis que les mesures de contrôle consistent en des exigences périodiques d'échantillonnages à la source[81].

Aucun des articles du RAA n'exige de mesures du nickel à la source. Il est toutefois possible que le MDDELLC en fasse une exigence dans le cadre d'un certificat d'autorisation.

[80] Guide des projets miniers, section 3.9.3

[81] Michel Goulet, directeur des politiques de la qualité de l'atmosphère, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), Martin Lecours, ing., Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère, MDDEP, « Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère. Pour une meilleure protection de la qualité de l'air », Vecteur environnement, Septembre 2011. [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/atmosphere/articleRAA-201109pdf.pdf]. Consulté le 22 décembre 2017 ; ROYAL NICKEL CORPORATION. Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social – Volume 1 – Rapport principal, par GENIVAR, novembre 2012, 830 pages, p.9-12 : « Les PTS seront également échantillonnées en continu par un échantillonneur automatique muni d'un port d'aspiration dépourvue de cyclone et permettant ainsi l'échantillonnage de la totalité des particules en suspension dans l'air. Comme pour les PTS, les particules fines (PM2, 5) seront également échantillonnées par un échantillonneur automatique. La mesure des particules fines se fera en temps réel et servira aussi pour comparaison avec les normes de qualité de l'air du RAA ». PTS pour particules totales en suspension. [http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/gisement_nickel_dumont/documents/PR3.1.pdf]. Consulté le 27-02-2018.

4.4.1 Les mesures de suivi environnemental

Le suivi environnemental est effectué par l'initiateur de projet et il a pour but de vérifier, par l'expérience sur le terrain, la justesse de l'évaluation de certains impacts et l'efficacité de certaines mesures d'atténuation ou de compensation prévues à l'étude d'impact et pour lesquelles subsiste une incertitude. Le suivi environnemental peut porter autant sur le milieu biophysique que sur le milieu humain, et notamment sur certains indicateurs de développement durable permettant de suivre, pendant l'exploitation du projet, l'évolution d'enjeux identifiés en cours d'analyse.Les connaissances acquises lors des programmes de suivi environnemental antérieurs peuvent être utilisées non seulement pour améliorer les prévisions et les évaluations relatives aux impacts des nouveaux projets de même nature, mais aussi pour mettre au point des mesures d'atténuation et éventuellement réviser les normes, directives ou principes directeurs relatifs à la protection de l'environnement.[82]

4.4.2 Les mesures de contrôle

La Liste des méthodes d'échantillonnage et d'analyse du ministère nous informe que les méthodes d'échantillonnage pour les PST et les PM_{10} dans l'air ambiant se font, non pas au moyen de mesures en continu, mais par des mesures séquentielles. Elles se font par des prélèvements opérés à l'aide d'un échantillonneur à grand débit qui sépare les particules en fonction de leur diamètre. L'analyse des concentrations de nickel s'effectue en laboratoire.

D'une manière générale, le RAA impose à l'exploitant d'une entreprise susceptible d'émettre des contaminants dans l'atmosphère l'obligation de procéder à l'échantillonnage des contaminants émis et ce, dans des délais précis (une fois par an, tous les 2 ans, 3 ans, 5 ans)[83].

---

[82] MDDELCC, Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet industriel, novembre 2016.

[83] Voir notamment les art. RAA 22, 53,74, 86, 96, 119, 129, 141, 147, 152, 156, 162, 167, 171, 174, 178, 183,192. L'art.198. RAA précise que l'échantillonnage des émissions dans l'atmosphère requis pour assurer l'application du présent règlement doit être effectué selon les méthodes de référence prescrites au cahier n° 4 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* publié par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Voir : Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques du Québec, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – Cahier 4 – Échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes,* Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale

Pour ce qui est du suivi environnemental, c'est notre compréhension des choses que le ministère peut toujours demander à l'exploitant d'une entreprise d'installer sa propre station d'échantillonnage de l'air ambiant avant la réalisation du projet. Mais l'obligation faite par le RAA de ne pas contaminer l'atmosphère au-delà des valeurs limites contraint les auteurs des études d'impact d'un grand projet industriel à prévoir généralement l'installation d'appareils de mesure et la construction de stations d'échantillonnage de l'air ambiant ; le nombre, la fréquence des échantillonnages et le nombre d'années où ce contrôle sera effectué pourra aussi être prévu[84]. Pour les projets miniers assujettis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement en vertu du *Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement* chapitre (Q-2, r. 23), la *Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet minier*[85] dispose que le promoteur d'un projet doit proposer dans l'étude d'impact un programme préliminaire de surveillance et de suivi environnementale et que ce programme doit décrire « les moyens et les mécanismes mis en place pour s'assurer du respect des exigences légales et environnementales ». Il doit aussi prévoir un programme de suivi qui doit notamment prévoir « les modalités concernant la production des rapports de suivi (nombre, fréquence et format) ».

L'art. 202 RAA précise que la concentration des contaminants doit être calculée en fonction d'un point qui se situe à l'extérieur des limites de la propriété occupée par la source de contamination, ainsi qu'à l'extérieur de tout secteur zoné à des fins industrielles et de toute zone tampon adjacente à un tel secteur, tel qu'établi par les autorités municipales compétentes. Cependant, dans le cas où le territoire ainsi zoné comprend une ou plusieurs résidences permanentes, la concentration des contaminants doit également être calculée en fonction d'un point qui se situe à l'intérieur des limites de la propriété de chacune de ces résidences».

---

du Québec, 2016, 71 pages. [http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/emiss_atm_fixesC4.pdf].

[84] Voir par exemple l'étude d'impact présentée par Genivar pour le projet de la mine Dumont : Genivar. 2012. *Projet Dumont, Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Rapport réalisé pour Royal Nickel Corporation (RNC).* 23 novembre 2012. 6 volumes. (Pagination par section et annexes). [http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/gisement_nickel_dumont/documents/PR3.1.pdf].Consulté le 27 février 2018.

[85] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique, Novembre 2016.

Tout échantillonnage ainsi fait doit faire l'objet d'un rapport d'échantillonnage effectué selon les modalités prescrites au cahier n° 4 du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* publié par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Le rapport est ensuite transmis au ministre.

À la différence d'autres métaux comme le fer, le plomb, le cuivre, le zinc ou l'amiante, le nickel ne fait pas l'objet de traitement distinct dans le RAA ; ce dernier définit seulement la valeur limite de nickel dans l'air ambiant aux annexes G et K et précise que cette norme doit être respectée sur une période de 24 heures et mesurée dans les PM_{10}. Par conséquent, on ne trouve pas d'obligation similaire et précise qui serait à la charge d'un exploitant d'une entreprise de nickel et qui l'obligerait à procéder au calcul des émissions polluantes selon un calendrier prédéterminé autre que la déclaration annuelle des émissions[86].

Cependant, l'article 20 LQE déclare que « [n]ul ne doit émettre, déposer, dégager ou rejeter ni permettre l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement d'un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement ». On sait que l'art.197 RAA[87] interdit à quiconque, « à compter du 30 juin 2011, de construire ou de modifier une source fixe de contamination ou d'augmenter la production d'un bien ou d'un service s'il est susceptible d'en résulter une augmentation de la concentration dans l'atmosphère d'un contaminant mentionné à l'annexe K au-delà de la valeur limite prescrite pour ce contaminant à la colonne 1 de cette annexe » ; le même article déclare que les modèles de dispersion atmosphérique prescrits à l'annexe H doivent être utilisés pour les fins de ce calcul. Selon l'annexe H, il revient à chaque exploitant, de « calculer, à l'aide du modèle utilisé, la concentration dans l'atmosphère de chaque contaminant émis pour lequel une valeur limite est

[86] On note que le nickel ne fait partie des contaminants à déclaration obligatoire au sens du *Règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère* (chapitre Q-2, r. 15) qui visent certains éléments à l'origine de la pollution toxique comme
le mercure (Hg) , le plomb (Pb), le cadmium (Cd), l'arsenic et le chrome hexavalent. Toutefois, l'art. 4 RAA oblige « [t]out exploitant d'une source de contamination à laquelle s'applique une norme prévue au présent règlement doit fournir au ministre (…), à la demande de ce dernier et dans le délai qu'il indique, tout renseignement nécessaire pour identifier la nature des contaminants émis dans l'atmosphère ou susceptibles de l'être, pour évaluer leur quantité ou leur concentration, pour localiser les endroits d'émission ou pour connaître les caractéristiques des installations, des appareils ou des procédés en cause ».

[87] Voir aussi l'article 22 LQE. : [n]ul ne peut ériger ou modifier une construction, entreprendre l'exploitation d'une industrie quelconque, l'exercice d'une activité ou l'utilisation d'un procédé industriel ni augmenter la production d'un bien ou d'un service s'il est susceptible d'en résulter une émission, un dépôt, un dégagement ou un rejet de contaminants dans l'environnement ou une modification de la qualité de l'environnement, à moins d'obtenir préalablement du ministre un certificat d'autorisation.

prescrite aux (…) annexes G et K». Les annexes G et K prescrivent des valeurs limites pour le nickel dans l'air ambiant.

L'échantillonnage des concentrations de nickel dans l'atmosphère doit être effectué selon les méthodes de référence prescrites au Cahier n° 4 du Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales publié par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (art. 198 et 200 RAA). La Liste des méthodes d'échantillonnage et d'analyse du ministère[88] nous informe que l'analyse des métaux dans les PM10 sont analysés à partir des particules prélevées sur les filtres des échantillonneurs à grand débit (Hi Vol) à tête sélective qui séparent les particules en fonction de leur diamètre. C'est ensuite par spectrométrie que le poids du nickel est isolé sur le filtre PM10. Couture précise que «[l]es valeurs obtenues sont exprimées en concentrations moyennes sur 24 heures, ce qui correspond à la durée du prélèvement »[89].

Par ailleurs, on ne doit pas oublier que les mesures de contrôle de la qualité de l'atmosphère s'inscrivent dans le cadre du réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec qui comprend 64 stations de mesure, réparties sur tout le territoire. Les particules en suspension totale[90] (PST) sont mesurées dans 30 stations et les PM_{10} dans 10 stations seulement, dont 1 à Québec et 7 à Montréal, les 2 autres étant situées respectivement au Saguenay et à Bécancour[91]. L'information en provenance du ministère nous apprend que « [l]a mesure des concentrations des particules en suspension totales (PST, 0 à 50 µm) et des PS_{10} (particules en suspension de diamètre inférieur à 10 microns) consiste en un échantillonnage d'une durée de 24 heures

---

[88] Voir Annexe X.

[89] 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, p.13 [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/mercier/rapport-etape-incin-cleanharbors.pdf]. Consulté le 23 février 2018.

[90] Le terme « Particules en suspension » est utilisé pour désigner les particules en suspension totales (PST); les particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm (PM_{10}) ou les particules fines ($PM_{2,5}$) . Source : Foucreault, M-A., Busque, D., McKinnon, J., 2016. *Portrait de la qualité de l'air de la région de la Capitale-Nationale,* Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN : 978-2-550-77212-5 (PDF), 74 pages. [En ligne] http://www.mddelcc.gouv.qc.ca). Le Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – Cahier 4 – Échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2016, 71 pages, définit les PM $_{2,5}$ comme des particules fines ou particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns.

[91] Ministère du développement durable, environnement et lutte contre les changements climatiques, Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec, Tableau 1. Synthèse du réseau de surveillance de la qualité de

effectué systématiquement tous les 6 jours[92] ». L'analyse des résultats est faite par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) du Ministère[93].

4.5 Les sanctions administratives et pénales

Sauf pour la détermination de la valeur limite dans les annexes G et K, le nickel n'est pas spécifiquement visé par le RAA. Contrairement à d'autres contaminants qui font l'objet de dispositions précises, il faut passer par des dispositions de nature générale pour déterminer le cadre des sanctions qui peuvent être applicables en cas de violation des normes portant sur le nickel.

Chose étonnante, l'art. 202.7 ne prévoit pas de sanction administrative pour défaut de respecter les valeurs limites ou les concentrations prescrites et applicables aux émissions de nickel. Il en va de même pour les sanctions de nature pénale : le défaut de respecter les limites d'émissions prescrites pour le nickel et le défaut de prendre les mesures correctrices nécessaires en cas de dépassement des valeurs limites, ne sont pas des infractions aux termes de l'art. 206 du RAA.

Par ailleurs, la LQE donne au ministre le pouvoir d'ordonner au responsable de la source de contamination « de cesser définitivement ou temporairement ou de limiter, selon les conditions qu'il impose, l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet de ce contaminant ». (Art. 25). Il peut encore ordonner à ce dernier d'utiliser toute catégorie ou type d'appareil spécifique, aux fins de réduire ou d'éliminer l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet d'un contaminant et /ou « d'installer, dans les délais et à l'endroit qu'il désigne, toute catégorie ou type d'équipement ou d'appareil aux fins de mesurer la concentration, la qualité ou la quantité de tout contaminant et obliger le responsable de la source de contamination à transmettre les données recueillies selon les modalités qu'il détermine.

L'article 115.32 de la LQE prévoit l'amende ou l'emprisonnement pour toute personne qui contrevient à l'article 20 qui interdit à quiconque d'émettre, de déposer, de dégager ou de rejeter dans l'environnement un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement, mais en pratique, cela n'est jamais appliqué.

---

l'air du MDDELCC (http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/programme_surveillance/index.asp; http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/programme_surveillance/Tableau_1.pdf).Consulté le 20 février 2018.

[92] *Ibidem.*

[93] *Id.*

Annexe 1
Liste des méthodes d'échantillonnage et d'analyse

Les mesures effectuées aux stations d'échantillonnage sont de deux types : les mesures en continu et les mesures séquentielles. Les tableaux qui suivent présentent les méthodes utilisées pour ces deux types de mesures.

Les mesures en continu

Paramètre

Méthode d'échantillonnage
Ozone (O_3)
Absorption du rayonnement ultraviolet
Dioxyde de soufre (SO_2)
Fluorescence du rayonnement ultraviolet
Oxydes d'azote (NO_x, NO, NO_2)
Chimiluminescence de la réaction du NO avec le O_3
Monoxyde de carbone (CO)
Absorption du rayonnement infrarouge
Hydrogène sulfuré (H_2S)
Fluorescence du rayonnement ultraviolet
Particules fines en suspension (PF)
Gravimétrie ou atténuation d'un rayonnement bêta

Les mesures séquentielles

Paramètre

Méthode d'échantillonnage
Méthode d'analyse
Particules en suspension totales (PST)
Prélèvements faits à l'aide d'échantillonneur à grand débit sur filtre de téflon
Méthode gravimétrique :
MA. 100 – Part. 1.0 (format pdf, 85 ko)
Particules en suspension (PS_{10})
Échantillonneur à grand débit à tête sélective
Méthode gravimétrique :
MA. 100 – Part. 1.0 (format pdf, 85 ko)

- Analyse des anions dans les PST et les PS_{10}

Extraction aqueuse avec ultrasons et chromatographie ionique :
MA. 300 – Ions 1.3 (format pdf, 151 ko)

- Analyse des métaux dans les PST et les PS_{10}

Extraction acide
- pour les métaux : spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon :
MA. 200 – Mét 1.2 f(ormat pdf, 320 ko)

Particules en suspension comprenant les fractions de diamètre compris entre 2,5 et 10 microns et inférieur à 2,5 microns ($PS_{2,5-10}$)

Prélèvement avec un échantillonneur dichotomique

Composés organiques semi-volatils (COSV)

- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Prélèvements faits à l'aide d'un échantillonneur à grand débit avec l'ajout de la mousse de polyuréthane
Extraction au dichlorométhane et dosage par chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectrométrie de masse (GC/MS) :
MA. 400 – HAP 1.1 (format pdf, 287 ko)

- Dioxines et furannes

Prélèvements faits à l'aide d'un échantillonneur à grand débit avec l'ajout de la mousse de polyuréthane
Extraction au toluène et dosage par chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse à haute résolution (HRMS) :
MA. 400 – D.F. 1.0 (format pdf , 192 ko)
Composés organiques volatils (COV)
Prélèvements faits à l'aide d'un échantillonneur équipé d'une pompe aspirant l'air dans des cartouches d'adsorbant (Tenax)
Désorption thermique des COV et transfert quantitatif sur chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (CG / SM) MA. 401 –COV – Tubes Tenax 1.0 (méthode rédigée et accréditée mais non disponible)

Prélèvement faits de façon passive dans des enceintes sous vide en acier inoxydable rendues inertes (canister)
Prélèvement d'un aliquote gazeux du canister, transfert et trappage cryogénique dans un préconcentrateur avec un transfert final sur un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (CG/SM) MA.401 –COV Canister 1.0 (méthode rédigée et accréditée mais non disponible)

Source : Ministère du développement durable, environnement et lutte contre les changements climatiques, Réseau de la surveillance de la qualité de l'air du Québec, Annexe 1, [http ://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/programme_surveillance/index.asp], consulté le 20 février 2018.

BIBLIOGRAPHIE

Lois et règlements

Charte des droits et libertés de la personne, L.R.Q., c. C-12.
Loi sur la Communauté métropolitaine de Montréal (L.R.Q., c. C-37.01)
Loi sur la qualité de l'environnement, L.R.Q., c. Q-2
Règlement sur les rejets à l'atmosphère et sur la délégation de son application (nº 2001-10)
Règlement 2001-10 de la Communauté métropolitaine de Montréal
Règlement relatif à l'assainissement de l'air et remplaçant les règlements 44 et 44-1 de la Communauté (Règlement no 90 de la C.U.M., modifié par les Règlements nos 90-1, 90-2 et 90-3) [http ://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/reglements/09_1.pdf]
Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère, Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2, a. 31, 53, 115.27, 115.34, 124.0.1 et 124.1)
Règlement sur les rejets à l'atmosphère et sur la délégation de son application (nº 2001-10). *Règlement 2001-10 de la Communauté métropolitaine de Montréal.*

Documents officiels

Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale, Comité intersectoriel sur la contamination environnementale dans l'arrondissement La Cité-Limoilou, *Bilan de l'an 1 (2013-2014),* 30 septembre 2014.
Direction régionale de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale, *Contamination atmosphérique dans l'arrondissement la Cité-Limoilou : la question du nickel. Avis de santé publique*, avril 2013.
Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale-Nationale, Directeur de santé publique de la Capitale-Nationale, *Contamination environnementale dans le quartier Limoilou, Avis complémentaire de santé publique. Le nickel,* septembre 2015[https ://www.ciusss-capital]
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Direction des renseignements, de l'accès à l'information et des plaintes sur la qualité des services, « Demande d'accès no 2017-01-68. Lettre-réponse », [http ://www.demandesinfos.mddelcc.gouv.qc.ca/dossiers/air/4721_fiche.pdf]
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Guide d'instructions, *Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions anthropiques, Projets miniers*, Février 217, 94 pages. [En ligne]. http ://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/index.htm
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2017), *Normes et critères de qualité de l'atmosphère du Québec : Cadre de détermination et d'application*, Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN : 978-2-550-79483-7 (PDF), 18 p. [En ligne : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/Cadre-app-determination-criteres-qc-qualite-atmosphere.pdf
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2016), *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales Cahier 4 Échantillonnage des émissions atmosphériques en provenance de sources fixes*, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2016, 71 pages.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2014). *Guide d'application du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (chapitre Q-2, r 4.1), Québec, ISBN 978-2-550-72528-2, 460 p. [http ://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/atmosphere/RAA-guide-]
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction des avis et des expertises, *Historique de la révision de la norme du nickel*, 2017-06-07.
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques, Réseau de la surveillance de la qualité de l'air du Québec, *Annexe I,* [http ://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/programme_surveillance/index.asp].
Brault Marie-Pierre et Gilles Boulet, *Détermination et application de la norme de nickel*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction des avis et des expertises, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 15 juin 2017 (Présentation Power Point).

Ouvrages et articles

Baril, Jean, *Le BAPE devant les citoyens, Pour une évaluation environnementale au service du développement durable*, Presses de l'Université Laval, 2006.
Brunelle, Christian, « Les droits et libertés fondamentaux », *Droit public et administratif*, vol. 7, Collection de droit 2004-2005, Cowansville, Éditions Yvon Blais, 2004.
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.
GENIVAR, 2012. Projet Dumont, Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Rapport réalisé pour Royal Nickel Corporation (RNC). 23 novembre 2012. 6 volumes. (Pagination par section et annexes) [http ://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/gisement_nickel_dumont/documents/PR3.1.pdf]
Goulet, Michel, directeur des politiques de la qualité de l'atmosphère, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) Martin Lecours, ing., Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère, MDDEP, « Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère. Pour une meilleure protection de la qualité de l'air » Vecteur environnement Septembre 2011, [http ://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/atmosphere/articleRAA-201109pdf.pdf]
Lalande, V., Duchesne, L. 2013a. *Analyse des concentrations de métaux dans l'air ambiant du territoire de Limoilou. Initiative citoyenne de vigilance du Port de Québec*, 20 p. (disponible en ligne : vigilanceportdequebec.com).
Walsh, P., Brière, J.-F. 2013. Origine des concentrations élevées de nickel dans l'air ambiant à Limoilou. Direction du suivi de l'état de l'environnement ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. 20 p.
WSP. 2017. Terminal maritime en rive nord du Saguenay, Modélisation de la dispersion atmosphérique Révision 2. Rapport produit pour Administration portuaire du Saguenay.

5. Ontario

Le règlement *Ontario Regulation 419/05* – Air Pollution – Local Air Quality est un règlement adopté en 2005 par le gouvernement de l'Ontario en vertu de la *Loi sur la protection de l'environnement.* Ce règlement peut être respecté par les émetteurs de trois façons:

1) En se conformant à la norme d'air ambiant générale prévue au règlement.
2) En demandant d'être soumis à une norme d'air ambiant spécifique à un site particulier (*site-specific standard*) ou
3) En demandant d'être soumis à une norme technique sectorielle (*sector-based technical standard*) et en la respectant. Ce standard ne fixe pas de norme d'air ambiant, mais réfère à des pratiques à appliquer pour l'industrie concernée.

5.1 Norme générale – Règlement 419/05

En ce qui concerne le nickel, le ministère a mis en place, à partir de 2009, un processus visant à établir une norme générale de la qualité de l'air ambiant pour le nickel. Cette norme est entrée en vigueur le 1er juillet 2016 et établit à 0,04 µg/m^3 (40 ng) la concentration annuelle maximale limite devant être respectée dans l'air ambiant à l'extérieur des limites de propriété d'une installation industrielle.

5.1.1 Contaminant

5.1.1.1 Nom et no du contaminant

Le composant porte le nom de Nickel et ses composés. Son « Chemical Abstracts Service Registry Number » est 7440-02-0.

5.1.1.2 Norme en µg/m3

Précisions que les valeurs AAQC définies par l'Ontario sont des critères de qualité de l'air applicables pour des campagnes de mesure de la qualité de l'air, des études de dispersion ou autres.[94] La norme générale de qualité de l'air applicable pour le nickel est de 0,04 µg/m^3.[95]

5.1.1.3 Prise en compte de la concentration naturelle initiale du nickel

La concentration dans l'air ambiant de nickel et ses composés n'est pas prise en compte lors de l'établissement de la norme à respecter[96]. La norme prévoit donc la conformité des installations à la norme d'air ambiant sans égard à la concentration de nickel et ses composés qui se retrouve naturellement dans l'air ambiant.

5.1.1.4 Périodicité : journalière ou annuelle

La périodicité générale est calculée annuellement, par une moyenne arithmétique des données journalières recueillies pendant l'année[97].

5.1.1.5 Moyen de la calculer (PM 10 ou en PST(SP))

En ce qui concerne le nickel et ses composés, le respect de la norme est calculé en fonction des Particules en suspension totales, donc les PST(SP)[98].

5.2 Mesures de mitigation/ de minimisation des impacts

Cette section ne s'applique pas. Si une entreprise respecte la norme, elle n'a pas d'autres mesures à respecter.

---

[94] Ontario, *Ontario's Ambient Air Quality Criteria - Sorted by Contaminant Name, [en ligne:* https://www.ontario.ca/page/ontarios-ambient-air-quality-criteria-sorted-contaminant-name].
[95] *Air Pollution – Local Air Quality*, O.Reg., 419/05, annexe 3.
[96] *Ontario Air Standards for Nickel and Nickel Compounds*, Standards Development Branch for Ontario Ministry of the Environment, June 2011, p.71.
[97] *Air Pollution – Local Air Quality*, O.Reg., 419/05, annexe 3.
[98] *Proposal to Amend Ontario Regulation 419/05: Air Pollution – Local Air Quality, under the Environmental Protection Act, to include an Ontario Air Standard for Nickel and Nickel Compounds*, Ministry of the Environement and climate changes, EBR number: 010 - 7188, http://www.ebr.gov.on.ca/ERS-WEB-External/displaynoticecontent.do?noticeId=MTA3MDkx&statusId=MTY5OTQx.

5.3 Mesures de suivi de la qualité de l'air ambiant

5.3.1 Échantillonnage (périodicité de l'échantillonnage)

Les méthodes d'échantillonnage prescrites, la fréquence, la validation des données, les exigences d'assurance et de contrôle de la qualité, les obligations quant au 'reporting' aux autorités, les procédures d'opération standards pour le monitoring en continu et les méthodes d'échantillonnage qui ne sont pas en continu selon les appareils utilisés, les critères de localisation des stations, etc. sont définis dans le document :

- *Operations manual for air quality monitoring in Ontario* dont la nouvelle version datée du 23 février 2018 entrera en vigueur le 1er juillet 2018
- L'Ontario réfère aux méthodes d'échantillonnage prescrites par l'US EPA disponibles sur internet au https://www3.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html (ex: PM_{10})

De façon générale, l'Ontario se conforme à la règle Nord américaine, soit une fréquence d'échantillonnage aux six jours pour les particules (de 0h00 à 24h00). Le manuel d'opération mentionne qu'une fréquence parfois différente peut être utilisée ou requise pour prendre davantage d'échantillons dans une année (ex : aux trois jours).

5.3.2 Reporting/rapport

L'article 9 de la *Loi sur la protection de l'environnement* prévoit qu'une demande d'autorisation environnementale est obligatoire dans les cas suivants où une personne souhaite:

a) utiliser, exploiter, construire, modifier, étendre ou remplacer une usine, un ouvrage, un équipement, un appareil, un mécanisme ou une chose susceptible de rejeter ou duquel peut être rejeté un contaminant dans une partie de l'environnement naturel autre que l'eau;

b) modifier un procédé ou un débit de production de façon qu'un contaminant puisse être rejeté dans une partie de l'environnement naturel autre que l'eau ou que le débit ou le mode de rejet d'un contaminant dans une partie de l'environnement naturel autre que l'eau puissent être modifiés.

L'article 22 du règlement 419/05 prévoit qu'une personne faisant une demande d'autorisation environnementale doit produire un résumé des émissions et des rapports de

modélisation de dispersion (Rapports ESDM) conformément à l'article 26[99]. Ce rapport doit être réalisé à l'aide de l'un des modèles de dispersion approuvés en vertu du règlement[100]. La préparation ou la mise à jour d'une étude de dispersion doit se conformer aux articles 9 à 17 du règlement.

L'article 26 prévoit tous les éléments qui doivent être contenus dans un rapport ESDM, ce qui comprend entre autres une liste de tous les contaminants qui sont rejetés à partir de la propriété Le paragraphe 3 prévoit également qu'une différenciation doit être faite entre l'émission en quantité négligeable d'un contaminant et l'émission qui mérite d'être prise en compte. Le terme négligeable n'est pas défini de manière précise dans le règlement, toutefois, en vertu de l'article 8, le directeur dispose d'un certain pouvoir de contrôle afin de déterminer si un contaminant est émis de manière négligeable ou non. De plus, il semble évident qu'une quantité négligeable est une quantité qui ne dépasse pas la norme prescrite pour le contaminant.

Le paragraphe 8 de l'article 26 prévoit que les contaminants qui, à partir d'un modèle de dispersion approuvé, sont identifiés comme étant émis en quantité non-négligeable, doivent être répertoriés dans un tableau qui contient notamment des informations relatives à l'identification de la source du contaminant et les périodes de calcul moyennes pour lesquelles le modèle de dispersion approuvé a été utilisé pour chaque contaminant et sa source de contamination. De plus, pour chaque période de calcul moyenne, le taux d'émission du contaminant et la source de contamination doivent être connus de même que de la méthode utilisée pour estimer le taux d'émission du contaminant et de la source de contamination.

Le paragraphe 9 oblige aussi les personnes qui soumettent un rapport ESDM à fournir un plan, dessiné à l'échelle, de la propriété à partir de laquelle est émis le contaminant. Ce plan doit notamment contenir des informations quant aux limites de la propriété, les coordonnées géographiques d'un nombre suffisant de points afin de décrire avec précision ces limites ainsi que l'emplacement, les dimensions et la hauteur de chaque structure sur la propriété.

Une indication quant à la méthodologie entourant l'utilisation du modèle de dispersion doit également se retrouver dans ce rapport. En effet, le paragraphe 11 de l'article 26 prévoit que

[99] L'article 21 prévoit que les normes prévues aux articles 19 et 20 ne s'appliquent pas si une entreprise a fait une demande d'autorisation environnementale et que cette autorisation prévoit des normes plus sévères que celles prévues en vertu des articles 19 et 20 (Environmental Compliance Approval).
[100] Ces modèles mathématiques sont prévus à l'article 6.

pour chaque contaminant émis en quantité non-négligeable, une déclaration indiquant le modèle de dispersion approuvé qui a été utilisé aux fins de la présente section et une description de la façon dont ce modèle de dispersion a été utilisé doivent être jointes au rapport et permettre de démontrer de manière suffisante que les articles du règlement 419/05 ont été respectés. En vertu de l'article 27 (1), ces rapports doivent être conservés pour une période d'au moins 5 ans. Le paragraphe (3) prévoit que ces rapports sont publics et que l'entreprise qui les produit doit les publier sur Internet et les rendre disponibles à toute personne qui en fait la demande dans un délai maximal de 15 jours.

Les points d'impact (points of impingement) sont les points à partir desquels le respect de la norme est mesuré. En d'autres termes, il s'agit des endroits où le respect de la norme doit être vérifié avec un modèle de dispersion atmosphérique (dans la majorité des cas) ou, le cas échéant, par une station d'air ambiant.

L'article 2 définit les points d'impact auxquels le ministre porte attention, qui doivent être situés à l'extérieur de la propriété. Il faut simplement définir ces points d'impact, identifiés au Québec comme des récepteurs sensibles, pour lesquels les résultats doivent être fournis (la plupart du temps par modélisation). D'ailleurs, la norme sectorielle éclaircit la définition des POI (sans utiliser le mot) faisant référence à ces points à l'alinéa 5 de l'article 1.

La Partie 2 du règlement (articles 6 à 17) traite de l'évaluation des concentrations ambiantes de contaminants avec les modèles de dispersion atmosphérique, et couvrent les aspects suivants :

- les modèles approuvés et spécifiés par le Directeur
- les sources d'émission négligeables qui peuvent être omises de la modélisation
- les conditions opératoires à modéliser
- les taux d'émission de contaminants des sources modélisées
- l'effet combiné des hypothèses retenues pour les conditions opératoires et les taux d'émission considérés,
- les données météorologiques
- la détermination des valeurs des paramètres de modélisation

- la grille de récepteurs à utiliser pour la modélisation
- les hauteurs limites de cheminée à considérer pour la modélisation (qui peuvent être plus basses que la hauteur de cheminée réelle)
- les considérations eu égard à la topographie
- le calcul pour des périodes de temps inférieures à une heure

Toute la Partie 2, des articles 6 à 17, concerne les modèles de dispersion (et non pas les mesures à la source ou dans l'air ambiant). L'article 10 fait référence aux conditions qui doivent être respectées afin que les résultats de modélisation soient valides. Ces conditions sont établies en fonction de différents scénarios qui favorisent le moment où la concentration sera la plus élevée, en se basant sur des conditions d'exploitation optimales ou des données antérieures. Un modèle de dispersion mathématique approuvé doit être utilisé conformément à l'un de ces scénarios pour chaque période de calcul de la moyenne applicable au contaminant visé[101].

En somme, ce rapport ESDM permet aux autorités provinciales de vérifier si les entreprises qui émettent des contaminants respectent la norme générale.

5.3.3 Les analyses menées (expert accrédité/labo accrédité)

Les analyses de laboratoire relatives aux mesures de particules (ex : métaux) doivent être réalisées par un laboratoire accrédité, ou à défaut, le ministère se réserve le droit de les auditer (article 1.13 du *Operations manual for air quality monitoring in Ontario)*.

5.4 Monitoring des émissions atmosphériques (sources ponctuelles, cheminées)

Les paragraphes 3 et 8 de l'article 26 prévoient entre autres que la hauteur et les dimensions de la source de contamination doivent être présentes dans un tableau récapitulatif sur l'émission de contaminants contenu dans le rapport ESDM soumis par les entreprises aux autorités environnementales provinciales.

[101] Ces modèles sont prévus à l'article 6 du règlement.

Les sources d'émission sont considérées de manière large. Le document d'orientation A-1 définit une source comme: «un point d'émission individuel, un processus ou une zone d'où les émissions peuvent provenir[102].»

De plus, «[l]orsque plusieurs cheminées ou évents proviennent d'un processus commun, le processus lui-même peut être considéré comme une source plutôt que comme les points d'émission individuels. Lorsque plusieurs processus distincts, chacun provoquant un mélange distinct de contaminants, chaque processus doit être considéré comme une source distincte. Aux fins du présent document d'orientation, un «processus» est une étape de production ou une série d'étapes de production pour lesquelles un taux d'émission est calculé sur la base de l'évaluation du processus dans son ensemble[103].»

5.4.1 Échantillonnage

Les paramètres à analyser à la source sont normalement prescrits dans les autorisations. Par exemple, l'annexe C de l'autorisation de conformité environnementale amendée datée du 14 janvier 2014 pour les installations de Vale prescrit les échantillonnages aux sources suivantes, pour ce qui touche les émissions de métaux à l'atmosphère :

Tableau X : Échantillonnage à la source des métaux exigé à Vale, Sudbury

Source	Fréquence minimale	Liste de métaux
Super cheminée	1 / an	Sb, Be, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Hg, Ni, Ag, Sn, Ti, V, Zn
Cheminée – unité de cuivre	1 / 2 ans	Sb, As, Be, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Ag, Sn, Ti, V, Zn
Filtre du séchoir à lit fluidisé	1 / an	
Cheminée de l'usine d'acide	1 / 3 ans	

Source: Ministère de l'environnement de l'Ontario. January 14, 2014. Amended Environmental Compliance Approval Number 6785-9BXPTC. 33p. non paginées.

Les tests aux cheminées doivent être réalisés en fonction du code prescrit par le ministère (Ontario Source Testing Code Part A Guidance and Procedures for Conducting Stationary

[102] Section 6.1

Source Emission Measurements). Le Code précise les méthodes de référence relatives à chaque contaminant. Le règlement 419/05 (art. 11, al. 2) exige qu'un plan d'échantillonnage soit transmis au ministère au moins 15 jours avant la tenue des essais.

5.4.2 Rapport : les exigences de produire un rapport et le contenu du rapport

Les exigences de reporting sont définies dans les autorisations spécifiques aux entreprises. Ainsi, l'annexe B de l'autorisation de Vale (2014) mentionne que les rapports d'échantillonnage (imprimé et électronique) des sources prévues dans la section précédente doivent être soumis dans un délai de 4 mois après que l'échantillonnage ait été complété. Ce rapport doit comprendre les éléments suivants en ce qui regarde les métaux:

- Sommaire exécutif
- Code SCIAN de l'entreprise
- Conditions d'exploitation de l'usine pendant la caractérisation (spécificités à rapporter selon les sources à échantillonner)
- Résultats des essais à la cheminée
- Comparaison avec les estimés d'émission fournis dans les rapports ESDM des installations5.4.3 Les analyses doivent-elles être faites par un expert accrédité/labo accrédité

L'annexe 3 du Code (Ontario Source Testing Code) établit les qualifications recommandées pour les équipes d'échantillonnage des émissions à la source.

[103] Section 6.1

5.4.4 Exigences par rapport à un projet d'expansion, de construction ou modification d'une source de contamination si le projet augmente la concentration dans l'air ambiant d'un paramètre pour lequel une valeur limite est déjà dépassée (art 197 RAA)

Si de nouvelles sources de contamination sont présentes sur le site, elles doivent être prises en compte et le rapport annuel et celui-ci doit être adapté en conséquence[104].

5.5 Comment faire une demande pour un « Site-Specific Standard »

5.5.1 Qui peut faire une demande de SSS

Vale et Glencore se sont prévalus de l'opportunité d'obtenir un SSS relatif à leurs installations, dans les délais prescrits. Ils ont recommandé un SSS qui a été approuvé par le ministère.

En 2018, un nouveau joueur de nickel ne pourrait pas demander un SSS car il n'est plus dans les délais, après la mise en vigueur de la nouvelle norme d'air ambiant. Par contre, il pourrait demander que la norme technique sectorielle s'applique à ses installations.

Les industries du nickel utilisent toutes le modèle AERMOD, qui est approuvé par le ministère.

Admissibilité pour faire une demande de Site Specific Standard[105]		
Le scénario demandé		L'opportunité de faire une soumission pour une demande de Site Specific Standard
2	Un nouvel établissement* qui est affecté par une norme pour un contaminant inclus dans liste de l'annexe 4[106] (Nickel et ses composés)	En même temps que l'application initiale de l'*Environment Compliance Application* ou, si la norme n'est pas encore en vigueur, 15 mois avant que la nouvelle norme prenne effet ou 12 mois après que la nouvelle norme ait été introduite. Le plus tard des 2[107]

[104] Id, section 2.3.
[105] *Guide to requesting a Site-Specific Standard,* Ontario, https://www.ontario.ca/page/guide-requesting-site-specific-standard#fny.
[106] *Op. cit.* art.32(1)4.
[107] *Op. cit.* art. 32(8) et (9).

3	Un établissement* existant qui est affecté par une norme pour un contaminant inclu dans l'annexe 4[108]	15 mois avant que la nouvelle norme entre en vigueur ou 12 mois après que la nouvelle norme ait été introduite. Le plus tard des 2.[109] Ex. Une demande pour respecter la norme qui prend effet 1er juillet 2016 doit avoir été faite pour 1er Avril 2015
4	Un établissement* qui a reçu un avis selon l'article 7 par le Directeur avant le 1er Février 2020 spécifiant qu'un seul modèle de dispersion peut être utilisé[110]	Dans les 3 années après que le Directeur ait envoyé l'avis[111]
5	Un établissement* qui a reçu un avis selon l'article 7 par le Directeur la journée même ou avant le 1er février 2020 spécifiant qu'un seul modèle de dispersion peut être utilisé et que celui-ci n'est pas inclut à l'article 6.[112]	Dans les 3 années après que le Directeur ait envoyé l'avis[113]
6	Un établissement* qui a reçu un avis selon l'article 20(4) ou un ordre selon l'article 20(5) par le Directeur pour l'application d'avance (''speeding up'' avant le 1er février 2020) des normes de l'annexe 1 et des nouveaux modèles de dispersion inclut dans l'article 6.[114]	Dans les 3 années après que le Directeur ait envoyé l'avis ou émis un ordre.[115]
7	Une personne faisant une demande de renouvellement pour un site-specific standard[116]	La demande de renouvellement doit être faite 15 mois avant l'expiration de l'approbation du site-specific standard[117]
8	Un établissement est tenue de présenter une demande en vertu du présent paragraphe dans le cadre d'un plan élaboré ou modifié conformément à une ordonnance sous l'article 7 ou 17 ou le paragraphe 7 ou 8 de l'alinéa 18(1) de la loi sur la protection de l'environnement.[118]	Selon la date spécifiée dans l'exigence
9	La personne émet, cause ou permet l'émission d'un contaminant venant d'un établissement qui selon leur	---

[108] *Op. cit.* art.32(1)5.
[109] *Op. cit.* art.32(9).
[110] *Op. cit.* art.32(1)6.
[111] *Op. cit.* art.32(10).
[112] *Op. cit.* art.32(1)7.
[113] *Op. cit.* art.32(10).
[114] *Op. cit.* art.32(1)8.
[115] *Op. cit.* art.32(11).
[116] *Op. cit.* art.32(1)8.1.
[117] *Op. cit.* art.32(12).
[118] *Op. cit.* art.32(1)9.

	modèle de dispersion, l'émission résulterait à une concentration du contaminent à un POI qui excéderais la limite de l'annexe 3 selon un scénario spécifiée dans un avis donné par le Directeur selon la sous-section 10 (1.9)[119].	

*Le terme établissement n'est pas défini, mais il réfère à un établissement dont la construction a débuté après le 30 Novembre 2005 et aucune application pour une «Environmental Compliance Approval » n'a été faite au jour du début de la construction ou avant[120].

L'annexe F présente une liste plus exhaustive des entreprises qui pouvaient demander un SSS.

5.5.2 Les informations exigées pour une demande de SSS

Selon nos informations, il n'est plus possible de demander un SSS pour une nouvelle entreprise du nickel, mais il est nécessaire d'y référer puisque Vale et Glencore ont dû soumettre ces informations pour obtenir leur SSS. Les sous-sections qui suivent expliquent la procédure qu'elles ont dû suivre pour obtenir leurs autorisations.

5.5.2.1 Les informations exigés avant la demande

Certaines informations doivent être données avant même de faire une demande officielle de SSS. Ces informations exigent une approbation d'avance ou une notification avant le dépôt de la demande officielle[121].

1 Une approbation des données météorologiques du site spécifique

2 Un plan d'évaluation combinée des résultats modélisés et contrôlés en tant qu'outil d'affinement du taux d'émission (CAMM)

3 Un plan pour effectuer des tests aux sources (si applicable)

4 Évaluation des sources négligeables

---

[119] *Op. cit.* , art. 32(1) par.10, entre en vigueur le 1er juin 2018.

[120] *Guide to requesting a Site-Specific Standard,* Ontario, https://www.ontario.ca/page/guide-requesting-site-specific-standard#fny.

[121] *Guide to requesting a Site-Specific Standard,* Ontario, https://www.ontario.ca/page/guide-requesting-site-specific-standard#fny.

5 Une notification pour une réunion de consultation préalable à la soumission de SSS avec les parties importantes locales

De plus, l'article 34 du règlement 419/05 exige une rencontre publique avant de déposer la demande[122].

5.5.2.2 Les informations exigées en même temps que la demande

Pour faire une demande officielle de SSS, l'entreprise doit donner les informations contenues aux articles 33, 34 et 34.1 du règlement ontarien[123]. Il faut envoyer :

1. Une déclaration spécifiant le temps estimé pour la durée de la demande[124].
2. Un rapport sur les rejets de polluants et les modèles de dispersion des polluants (Rapport ESDM), fait conformément à l'article 26 du règlement sur la Pollution de l'air - Qualité de l'air Ambiant (419/05)[125], qui doit inclure:

   - Les résultats d'une étude de modélisation ou de surveillance;

   - Une évaluation de la fréquence à laquelle la norme est dépassée et l'importance du dépassement;

   - Ce rapport devra être accessible au public lors de la réunion consultative avec le public.

L'article 26 exige beaucoup plus concernant ce rapport, mais il est inutile de spécifier tous les éléments (plus de 50).

3. Une liste de toutes les méthodes utilisées par d'autres personnes ou disponibles pouvant être utilisées pour réduire l'émission de contaminants[126] et une analyse de toutes ces méthodes pour déterminer lesquelles sont faisables[127].
4. Un rapport de référenciation (ce rapport devra évaluer ainsi que hiérarchiser les moyens techniques pour réduire la concentration des polluants et il devra faire l'évaluation des techniques réalisables).
5. Une analyse sur la viabilité économique (facultative).

[122] *Air Pollution – Local Air Quality*, O.Reg., 419/05, art. 34.
[123] *Air Pollution – Local Air Quality*, O.Reg., 419/05, art.33, 34, 34.1.
[124] *Op. cit.*, art.33(1) par. 0.1.
[125] *Op. cit.*, art.33(1) par. 1.
[126] *Op. cit.*, art.33(3).

6. Un rapport sur la consultation publique qui résume les résultats des réunions publiques obligatoires faites au sein de la collectivité locale.

7. Un plan d'action dans lequel il y aura un calendrier des délais de mise en œuvre, qui sera mis à jour annuellement.

8. Si selon le modèle de dispersion utilisé pour le rapport du point 2, il y aurait émission de contaminants au point d'être en contravention de l'article 20 à cause de la concentration du contaminant à un point d'intérêt, il faut ajouter :

    - Une déclaration écrite ou une carte identifiant les points d'intérêts[128]

    - Une déclaration écrite spécifiant le plus haut taux de concentration du contaminant au point d'intérêt selon le modèle de dispersion approuvé[129]

    - Une déclaration écrite spécifiant le nombre moyen de fois que le modèle de dispersion prédit que l'émission du contaminant ira en contravention de l'article 20 à cause du taux de concentration du contaminant à un point d'intérêt[130]

Les éléments numéro 3, 4 et 6 doivent être donnés lorsqu'une personne du public en fait la demande.

5.5.2.3 Les effets d'une telle norme

Lorsque le Directeur émet un SSS, toute référence au sein du règlement 419/05 à un standard se retrouvant dans l'annexe A est remplacé pour le standard SSS émis par le Directeur. L'annexe A du document ci-présent est, au sein du règlement, nommé « schedule 3» [131].

5.5.2.4 Les limites d'une telle norme

Tout d'abord, le Directeur ne peut pas accorder une norme SSS pour un contaminant dans l'annexe 3 du règlement sur la pollution de l'air - Qualité de l'air ambiant 419/05 s'il croit qu'il y aurait, trop fréquemment, une concentration supérieure au seuil de risque supérieur représenté dans le tableau 3[132].

---

[127] *Op. cit.*, art.33(4).
[128] *Op. cit.*, art.33(1), par. 2, sous-par. (i).
[129] *Op. cit.*, art.33(1), par. 2, sous-par. (ii).
[130] *Op. cit.*, art.33(1), par. 2, sous-par. (iii).
[131] *Op. cit.*, art.35(4).
[132] *Air Pollution – Local Air Quality*, O.Reg., 419/05, article 35(2).

Tableau 3 : Seuil de risque supérieur[133]

CAS No.	Contaminant	Seuil de risque supérieur à la demi-heure (µg/m³)	Seuil de risque supérieur aux 24 heures (µg/m³)
7440-02-0	Nickel et ses composés	6	2

Si jamais le Directeur a donné un SSS, il peut retirer le SSS sous certaines conditions. Le Directeur peut donner, à une personne ayant un SSS, un avis lui retirant son SSS si le Directeur croit que [134]:

a) L'émission du contaminant permis par le SSS aurait un effet négatif[135]

b) Les conditions de l'article 35 (6) ou (8) ne sont pas atteintes[136]

c) La personne n'arrive pas à se conformer à l'article 20, même si le SSS a été mis en place[137]

d) La personne arrive à se conformer à l'article 20 sans SSS[138].

Le Directeur doit donner un brouillon de l'avis et laisser la possibilité à la personne de présenter des observations écrites[139].

La condition de l'alinéa 35 (6) prévoit que le Directeur peut exiger des conditions pour approuver un SSS[140]. De plus, l'alinéa 35(8)[141] prévoit que, [142] si des conditions sont imposées par le Directeur en conformité avec l'alinéa (6)[143], l'alinéa (4) s'applique seulement s'il y a

[133] *Op. cit.,* schedule 6.
[134] *Op. cit.,* art. 37(1).
[135] *Op. cit.,* art. 37(1) par. a).
[136] *Op. cit.,* art. 37(1) par. b).
[137] *Op. cit.,* art. 37(1) par. c).
[138] *Op. cit.,* art. 37(1) par. d).
[139] *Op. cit.,* art. 37(2).
[140] *Op. cit.,* art. 35(6).
[141] *Op. cit.,* art. 35(8).
[142] *Ibid.*
[143] *Op. cit.,* art.35(6).

respect des conditions[144] et la personne qui a fait la demande de SSS doit donner un avis au Directeur quand les conditions ont été atteintes[145]. L'alinéa 4 prévoit que si jamais un SSS a été émis par le Directeur conformément à l'alinéa 1 de l'article 35, toute référence, dans cette loi, à un standard se retrouvant à l'annexe 3 pour le contaminant est présumée, pour la durée spécifiée par le Directeur, faire référence au SSS[146]. L'alinéa 35(8) prévoit que l'alinéa (7) s'appliquera, donc que pour toute référence à la norme de l'annexe 3 de la loi, il faudra présumer qu'il s'agit d'une référence au SSS, si les conditions découlant d'une « demande d'autorisation environnementale sont respectées concernant le contaminant soumis à un SSS.

Il est important de s'intéresser à l'article 20, car l'article 37 (1) c) et d) font mention de cet article comme pouvant mettre fin au SSS. En ce qui concerne l'article 37 (1) d), cela s'applique si l'établissement arrive à respecter l'article 20 comme il est écrit. Pour ce qui est de l'article 37 (1) c), il faut lire l'article 20 en remplaçant, lorsque mentionné, la valeur de l'annexe 3 du règlement sur la pollution de l'air - qualité de l'air ambiant (419/05) par la valeur déterminée par le Directeur concernant le SSS. Donc, on remplace la valeur de 0,04 µg/m³ par la nouvelle valeur que le Directeur impose à travers le SSS.

Le paragraphe 1 de l'article 20 empêche une personne d'émettre un contaminant dans l'air, contenu dans l'annexe A, si jamais l'émission occasionnait une concentration du contaminant à un point d'intérêt qui excéderait le standard de l'annexe A.[147] Le même règlement s'appliquerait si, selon un modèle de dispersion approuvé, la concentration du contaminant inclus dans l'annexe A excédait le standard de l'annexe[148]. Ces règles ne s'appliquent pas pour une norme de l'annexe A pour une période de temps moyenne de 10 minutes[149].

Selon le paragraphe 3, l'article 20 ne s'applique pas à l'émission d'un contaminant venant d'un établissement automatiquement[150] . Il faut que l'établissement fasse partie d'une des classes identifiées par un code NAICS dans l'annexe B[151] et l'émission a lieu le 1er février

[144] *Op. cit.*, art.35(6) par. a).
[145] *Op. cit.*, art.35(6) par. b).
[146] *Op. cit.*, art.35(4).
[147] *Op. cit.*, art.20(1).
[148] *Op. cit.*, art.20(2).
[149] *Op. cit.*, art.20(2.1).
[150] *Op. cit.*, art.20(3).
[151] *Op. cit.*, art.20(3) par. a).

2020[152] ou plus tard. L'autre exception est que la construction de l'établissement a commencé après le 30 novembre 2005 et qu'aucune demande n'a été faite le jour même ou auparavant pour un certificat d'approbation pour l'établissement[153].

Pour continuer avec le paragraphe 3, l'article 20 s'applique à l'émission d'un contaminant venant d'un établissement[154] qui fait partie d'une des classes identifiées par un code NAICS dans l'annexe C, autre qu'une classe identifiée par un code NAICS dans l'annexe B[155] et que l'émission a lieu le 1er février 2013 ou plus tard[156]. L'article 20 s'applique si la construction de l'établissement a commencé après le 30 novembre 2005 et qu'aucune demande n'a été faite le jour même ou avant pour un certificat d'approbation pour l'établissement[157].

Si le Directeur a approuvé une demande pour émettre un SSS pour un contaminant[158] et que la période d'approbation déterminée par le Directeur est débutée[159], l'article 20 ne trouve pas application conformément au paragraphe 20 (3) (c)[160].

L'article 20 ne s'applique pas à l'émission d'un contaminant venant d'un établissement sauf si[161] la conformité avec cette section est exigée par un avis ou un ordre venant du Directeur sous les alinéas (4) ou (5) en ce qui concerne les rejets du contaminant provenant des installations[162] ou les émissions ont lieu le 1er février 2020 ou après[163].

Le paragraphe 4 de l'article 20 prévoit que le Directeur peut donner, à une personne qui émet des contaminants venant d'un établissement, un avis exigeant que la personne se conforme à l'article 20 à partir de la date stipuler dans l'avis, mais qui ne peut pas être plus tard que le 31 janvier 2020 si l'avis est exigé en écrit par la personne[164].

Le paragraphe 5 de l'article 20 prévoit que le Directeur peut donner à une personne qui émet des contaminants venant d'un établissement, un ordre exigeant que la personne se conforme

[152] *Op. cit.*, art.20(3) par. a), sous-par. (i).
[153] *Op. cit.*, art.20(3) par. a), sous-par. (ii).
[154] *Op. cit.*, art.20(3), *a contrario*.
[155] *Op. cit.*, art.20(3) par. b).
[156] *Op. cit.*, art.20(3) par. b), sous-par. (i).
[157] *Op. cit.*, art.20(3) par. b), sous-par. (ii).
[158] *Op. cit.*, art.20(3) par. c).
[159] *Op. cit.*, art.35(9).
[160] *Op. cit.*, art. 20(3) par.c)
[161] *Op. cit.*, art.20(3).
[162] *Op. cit.*, art.20(3), par. d).
[163] *Op. cit.*, art.20(3), par. e).

à l'article 20 à partir de la date stipulée dans l'ordre, mais qui ne peut pas être plus tôt que le 1er février 2010, ni plus tôt que 3 mois après que l'ordre a été émis et il n'est pas plus tard que le 31 janvier 2020 si[165] : le directeur croit que l'émission du contaminant venant de l'établissement pourrait mener à un effet négatif[166] ou un rapport indique, si l'article s'applique, que l'émission du contaminant venant de l'établissement pourrait résulter à une contravention de l'article[167].

5.6 SSS de Glencore

5.6.1 Contaminant

5.6.1.1 Nom et numéro du contaminant

Le composant porte le nom de Nickel et ses composés. Son « Chemical Abstracts Service Registry Number » est 7440-02-0.

5.6.1.2 Prise en compte de la concentration initiale du nickel

Non, la concentration dans l'air ambiant de nickel et ses composés ne sont pas pris en compte lors de l'établissement de la norme[168]. Donc, le standard est le chiffre maximal d'émission possible, peu importe la quantité de nickel et ses composés qui se retrouve naturellement dans l'air.

5.6.1.3 Périodicité

Le taux d'émission est calculé sur une année complète[169]. Cependant, pour certaines données, la durée de temps de 24 heures est encore utilisée.

5.6.1.4 Moyen de calculer

En ce qui concerne le nickel et ses composés, on tient compte du Total des Particules suspendues, donc les PST[170].

---

[164] *Op. cit.*, art.20(4).
[165] *Op. cit.*, art.20(5).
[166] *Op. cit.*, art.20(5), par. b).
[167] *Op. cit.*, art.20(5), par. a).
[168] *Ontario Air Standards for Nickel and Nickel Compounds*, Standards Development Branch for Ontario Ministry of the Environment, June 2011, p.71.
[169] *Approval for Site-specific Standards Issued Pursuant to s.35(1) of O. Reg. 419/05*, Ministère de l'environnement et de l'action en matière de changement climatique, Numéro de référence : 7838-9TZKZA, http://www.downloads.ene.gov.on.ca/envision/env_reg/er/documents/2015/012-4796_draftapproval.pdf, p.4.

5.6.1.5 Valeurs limites

Tableau 1 : Valeur maximale d'émission de Nickel et ses composés dans l'air

Contaminant	Cas No.	Dates applicables	Quantité (µg/m3)	Durée de temps
Nickel et ses composés	7440-02-0	Date de l'approbation (2016) jusqu'au 31 décembre 2022	0,15[171]	Annuel
Nickel et ses composés	7440-02-0	1er janvier 2023 jusqu'au 30 juin 2026	0,066[172]	Annuel

Tableau 2 : Valeurs exigeant des actions immédiates en cas de dépassement

Contaminant	Cas No.	Dates applicables	Quantité mesurée ($\mu g/m^3$)	Durée de temps
Nickel et ses composés	7440-02-0	La date de l'approbation (2016) à 31 décembre 2022	2[173]	24 heures
Nickel et ses composés	7440-02-0	1er janvier 2023 à 30 juin 2026	1.6[174]	24 heures

[170] *Op. cit.*,p. 7.
[171] *Op. cit.*,p. 4.
[172] *Ibid*
[173] *Op. cit.*,p. 6.
[174] *Ibid.*

Le Directeur ne peut pas accorder une norme SSS pour un contaminant dans l'annexe 3 du règlement *Air Pollution – Local Air Quality,* O.Reg., 419/05 s'il croit qu'il y aurait, trop fréquemment, une concentration supérieure au seuil de risque supérieur représenté dans le tableau 3.

Tableau 3 : Seuil de risque supérieur[175]

CAS No.	Contaminant	Seuil de risque supérieur à la demi-heure (µg/m³)	Seuil de risque supérieur aux 24 heures (µg/m³)
7440-02-0	Nickel and ses composés	6	2

5.7 Mesure de mitigation et atténuation des impacts

5.7.1 Zone tampon en fonction de la distance et de la densité de population

En cette matière, il ne semble n'y avoir aucune demande supplémentaire.

5.7.2 Exigences suggérées ou obligatoires

Le règlement de la qualité de l'air exige que la compagnie mette en place un plan d'action concernant leur émission de contaminant lorsque celle-ci dépose une demande pour avoir un SSS[176]. Donc, le plan d'action que Glencore a fourni au gouvernement devient obligatoire et il doit le respecter pour avoir leur SSS. Cependant, le plan d'action disponible n'est que de grandes lignes directrices et la société a plusieurs années pour les mettre en place[177].

---

[175] *Air Pollution – Local Air Quality,* O.Reg., 419/05, schedule 6.
[176] *Air Pollution – Local Air Quality,* O.Reg., 419/05, art. 33 (4).
[177] *2016 Annual Report on the Actions plan*, Sudbury Integrated Nickel Opération a Glencore company, prepared by Darryl Pike and Chris Ransom, http://www.sudburyino.ca/en/environment/EnvironmentalPerformance/2016%20SSS%20Annual%20Report.pdf.

5.8 SSS de Vale

5.8.1 Contaminant

5.8.1.1 Nom et numéro du contaminant

Le composant porte le nom de Nickel et ses composés. Son « Chemical Abstracts Service Registry Number » est 7440-02-0.

5.8.1.2 Prise en compte de la concentration initiale du nickel

La concentration dans l'air ambiant de nickel et ses composés ne sont pas pris en compte lors de l'établissement de la norme[178]. Donc, le standard est le chiffre maximal d'émission possible, peu importe la quantité de nickel et ses composés qui se retrouve naturellement dans l'air.

5.8.1.3 Périodicité

Le taux d'émission est calculé sur une année complète[179] depuis le 1er juillet 2016. Cependant, pour certaines données, la durée de temps de 24 heures est encore utilisée.

5.8.1.4 Moyen de calculer

En ce qui concerne le nickel et ses composés, on tient compte du Total des Particules suspendues, donc les PST[180].

---

[178] *Ontario Air Standards for Nickel and Nickel Compounds*, Standards Development Branch for Ontario Ministry of the Environment, June 2011, p.71.

[179] *Avis de proposition d'acte instrumentaire,* Ministère de l'Environnement et d'action en matière de changement climatique, EBR Registry Number**:** 011-1617, http://www.ebr.gov.on.ca/ERS-WEB-External/displaynoticecontent.do?noticeId=MTExMzMx&statusId=MTcyMjk3&language=en.

[180] *Proposal to Amend Ontario Regulation 419/05: Air Pollution – Local Air Quality, under the Environmental Protection Act, to include an Ontario Air Standard for Nickel and Nickel Compounds,* Ministery of Environement and Climate Change, EBR Registry Number: 010-7188, June 22 2011.

5.8.1.5 Valeurs limites

Tableau 4 : Valeur maximale dans l'air ambiant pour le Nickel et ses composés

CAS No.	Contaminant	Dates applicables	Quantité (µg/m3)	Durée de temps
7440-02-0	Nickel et ses composés	28 Décembre 2011 à 30 juin 2015	15[181]	24 heures
7440-02-0	Nickel et ses composés	1 Juillet 2015 au 30 juin 2016	3[182]	24 heures
7440-02-0	Nickel et ses composés	1 Juillet 2016 au 28 décembre 2021	1[183]	Annuel

Depuis le 1er juillet 2016, une norme de 1 µg/m^3 est applicable à la plupart des stations d'air ambiant de Vale, sauf la station de la rue Power à 2 km au sud-est de Vale et la station de la rue Fielding, située à 9,4 km au nord-est des installations principales de Vale, mais à 4 km à l'est de la mine Frood.

5.8.1.6 Mesures de confinement et gestions des poussières

Tableau 5 : Mesures pour réduire l'émission de Nickel venant de sources éparpillées de l'établissement[184]

Équipement/Sources	Numéro d'item	Description de la mesure
Sources dont la propriété va à la fonderie dont les routes, les piles de contaminant à l'extérieur, le maniement des contaminants à l'extérieur et l'érosion du vent	1	Implanter le « Smelter Property Dust Management Plan »
	2	Continuer d'évaluer les options possibles pour déplacer les piles de contaminants, le travaille extérieur avec les contaminants et ajuster le trafic automobile pour éviter les zones sensibles
	3	Continuer le reboisement des frontières avec les communautés pour réduire l'érosion par le vent

[181] *Avis de proposition d'acte instrumentaire,* Ministère de l'Environnement et d'action en matière de changement climatique, EBR Registry Number: 011-1617, http://www.ebr.gov.on.ca/ERS-WEB-External/displaynoticecontent.do?noticeId=MTExMzMx&statusId=MTcyMjk3&language=en.
[182] *Ibid.*
[183] *Ibid.*
[184] *Action Plan Status Update : Copper Cliff Site-Specific Standard Approvals for Nickel,* Vale, 22 septembre 2017, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-environment/environmental-reporting-sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/Ni%20SSS%20Action%20Plan%20Update%2020170922.pdf, p. 4.

	4	Donner au gérant de district ainsi qu'au Directeur une évaluation des alternatives possibles pour réduire encore plus les émissions de nickel venant des sources éparpillées sur la propriété, conformément au projet AER.

Tableau 6 : Mesures pour réduire l'émission de Nickel – Travail supplémentaire[185]

Équipement/Sources	Numéro d'item	Description de la mesure
Toutes les sources d'émission de Nickel	11	Continuer la caractérisation des émissions et mesurer les résultats et l'efficacité des projets de contrôle des émissions
	12	Opérer un réseau de monitoring des particules
	13	Revoir à chaque année le plan d'urgence environnemental et de prévention et de confinement des renversements pour le mettre à jour et s'il n'a pas besoin d'être mis à jour, expliquer pourquoi.
	14	Revoir le programme de responsabilisation environnementale du complexe de fonderie et lke mettre à jour au besoin
	15	Revoir la participation de la compagnie au sein de la communauté, les partenariats et les comités. En consultation avec les actionnaires, développer une méthodologie pour informer et consulter la communauté concernant la qualité de l'air

A) Zone tampon en fonction de la distance et de la densité de population

En cette matière, il ne semble n'y avoir aucune demande supplémentaire.

B) Exigences suggérées ou obligatoires

Le règlement de la qualité de l'air exige que la compagnie mette en place un plan d'action concernant leur émission de contaminant lorsque celle-ci dépose une demande pour avoir un SSS[186]. Donc, le plan d'action que Vale a fourni au gouvernement devient obligatoire et il doit le respecter pour avoir leur SSS. Cependant, le plan d'action disponible n'est constitué que de grandes lignes directrices et la société à plusieurs années pour les mettre en place[187].

---

[185] *Op cit.* p.6.
[186] *Air Pollution – Local Air Quality,* O.Reg., 419/05, art. 33 (4).
[187] *Action Plan Status Update : Copper Cliff Site-Specific Standard Approvals for Nickel,* Vale, 22 septembre 2017, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-environment/environmental-reporting-

5.8.1.7 Mesures de suivi de la qualité de l'air ambiant

A) Échantillonnage

L'échantillonnage pour déterminer la qualité de l'air ambiant se fait à chaque 3 ou 6 jours par 8 moniteurs différents placés à des endroits stratégiques[188]. Le plan à l'annexe E montre la disposition des moniteurs dans l'espace autour de l'entreprise Vale.

B) Rapport

Le rapport sur la qualité de l'air ambiant est fait chaque trimestre. Le rapport contient[189] :

1 Un aperçu du programme d'échantillonnage.

2 Les résultats d'échantillonnages de toutes les stations classées dans un simple tableau pour déterminer la quantité d'échantillonnage faite, le total d'échantillonnage valide et le pourcentage d'échantillonnage valide. Suivi des raisons expliquant les échantillons non valides.

3 Un tableau spécifiant les quantités en µg/m3 de matière métallique dans l'air sans distinction entre les différents composés, mais avec une distinction selon les moniteurs et même selon la méthode PST et PM_{10}.

4 Une section parlant des vérifications faites pour les moniteurs que ce soit par une compagnie privée ou par le gouvernement. Les certifications affirmant que les moniteurs fonctionnent selon les normes tolérables sont mises en annexe du rapport[190].

---

sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/Ni%20SSS%20Action%20Plan%20Update%2020170922.pdf, p. 4-6.

[188] *2016 Environment Management System & Community Engagement Report*, Vale Canada, Ontario, 28 Mars 2017, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-environment/environmental-reporting-sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/2016%20Community%20Engagement%20Report%20FINAL.PDF, p.7.

[189] *Ambient Air Sampling Program Fourth Quarter 2017 Report City of Greater Sudbury, Ontario*, Vale Canada Limited, 9 Février 2018, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-environment/environmental-reporting-sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/2017 Q4 Report-Metals.pdf.

[190] *Op. cit.*, annexe B et C.

5 L'annexe A est composé de toutes les données recueillies par les moniteurs pour tous les métaux analysés placés dans des cases différentes, avec leur concentration, la date, ainsi que la méthode d'échantillonnage (PST ou PM_{10})[191].

En plus de ces rapports trimestriels, Vale doit remplir d'autres rapports deux fois par année[192]. Dans les faits, Vale remplit deux autres rapports annuellement. Ils doivent émettre un rapport sur l'avancement de leur plan d'action concernant le Nickel[193] ainsi qu'un rapport nommé : « Environment Management System & Community Engagement Report ». Dans le second rapport, ils parlent de la communication et des engagements envers la communauté, de la qualité de l'air ambiant, de l'échantillonnage, des initiatives pour réduire les émissions de polluants, des préoccupations environnementales de la communauté et comment se plaindre si quelque chose dérange les citoyens de la communauté aux environs[194].

C) Analyses menées

Depuis 2015, les campagnes de caractérisation de l'air ambiant sont confiées à un consultant en environnement (Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure). Cette firme confie l'analyse des métaux sur les filtres à un laboratoire indépendant (ALS Global Lab, de Burlington, Ont.)[195]. Cependant, Vale est entièrement responsable du monitoring. Amec rédige des rapports trimestriels qui sont disponibles sur le site web de Vale. Le ministère de l'Environnement et des Changements climatiques effectue des audits réguliers des moniteurs, dont la vérification qu'ils performent selon les normes.[196].

---

[191] *Ibid*

[192] *Avis de proposition d'acte instrumentaire,* Ministère de l'Environnement et d'action en matière de changement climatique, EBR Registry Number**:** 011-1617, http://www.ebr.gov.on.ca/ERS-WEB-External/displaynoticecontent.do?noticeId=MTExMzMx&statusId=MTcyMjk3&language=en.

[193] *Action Plan Status Update : Copper Cliff Site-Specific Standard Approvals for Nickel,* Vale, 22 septembre 2017, p.4-6.

[194] *2016 Environment Management System & Community Engagement Report,* Vale Canada, Ontario, 28 Mars 2017, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-environment/environmental-reporting-sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/2016%20Community%20Engagement%20Report%20FINAL.PDF.

[195] *Ibid.*

[196] *Avis de proposition d'acte instrumentaire,* Ministère de l'Environnement et d'action en matière de changement climatique, EBR Registry Number**:** 011-1617, http://www.ebr.gov.on.ca/ERS-WEB-External/displaynoticecontent.do?noticeId=MTExMzMx&statusId=MTcyMjk3&language=en.

5.9 Norme technique sectorielle

L'article 38 du règlement 419/05 prévoit que le ministre peut adopter une norme technique sectorielle (*Technical Standard*) spécifique à l'industrie minière Ni-Cu et Cu-Zn. En 2017, un processus de consultation a été mené en vue d'adopter une norme technique sectorielle pour l'industrie minière identifiée par les codes SCIAN 212232 (industrie minière nickel-cuivre) et 212233 (industrie minière cuivre-zinc). Cette norme est entrée en vigueur le 22 mars 2018[197].

Certains critères individuels doivent être respectés par les entreprises qui souhaitent être soumises à la norme technique sectorielle plutôt qu'à la norme générale. Les critères à respecter pour se soumettre à la norme technique sont prévus aux articles 39 et 42 du règlement. Il est à noter que la permission de se soumettre aux normes techniques peut être révoquée par le ministre sous réserve de certaines conditions prévues à l'article 40. À titre d'exemple, c'est le cas si le directeur est d'avis que les rejets de contaminants de l'installation dans l'air peuvent causer un effet défavorable et que l'effet négatif peut être évité, éliminé ou amélioré si la norme générale est respectée.

La sous-section (3) de l'article 39 prévoit les conditions cumulatives, surtout administratives, qu'une entreprise doit respecter pour être soumise à la norme technique sectorielle. Entre autres, le paragraphe 6 prévoit que le directeur doit être d'avis que les émissions de contaminants dans l'air ne doivent pas engendrer des effets négatifs si les articles 42 (5) ou 44 (3) s'appliquent à l'installation et au contaminant. Les effets négatifs potentiels sont essentiellement des critères qui doivent être pris en compte dans les cas où l'entreprise n'est pas soumise au respect de la norme générale. En d'autres termes, le règlement laisse un pouvoir discrétionnaire au directeur afin de refuser une demande d'application de la norme sectorielle s'il juge que les effets négatifs seraient trop importants.

En somme, afin de bénéficier de l'application de la norme technique sectorielle, les entreprises doivent être inscrites au registre des normes techniques du ministère. Le directeur évaluera également certains critères d'opportunité. L'objectif de la norme industrielle sectorielle est donc de faciliter l'application d'un autre type de cadre réglementaire pour les entreprises qui

[197]Technical standards to manage air pollution, Version 6.0., published by the Minister of Environment and Climate Change, march 22 2018(https://www.ontario.ca/document/technical-standards-manage-air-pollution-0/mining-sites-industry-standard)

ne pourront respecter la norme réglementaire générale sur la qualité de l'air sans impacts financiers importants.

5.9.1 Contaminant

Comme pour la norme générale, la norme sectorielle vise autant le nickel que le nickel et ses composés (7440-02-0).[198]

5.10 Mesures de mitigation/ de minimisation des impacts

A) Zones tampons en fonction de la distance et densité de la population

Cette norme technique sectorielle comprend plusieurs exigences qui visent toutes les étapes de production et d'extraction du nickel.

Le paragraphe 5 de l'article 1 de la norme technique sectorielle fait référence à certains lieux (un établissement de soins de santé, une résidence pour personne âgée ou de soins de longue durée, une garderie, un établissement d'enseignement, un logement) qui, s'ils sont situés à proximité de l'émetteur, permettent une application plus stricte de la norme. Notons également que le directeur peut, en vertu du paragraphe 1 de l'article (5), déterminer qu'un endroit fait partie des lieux énumérés à cet article (5) puisque l'émission d'un contaminant à cet endroit peut causer un risque pour la santé.

B) Confinement

L'article 4 traite de l'entreposage du matériel minier (matériau géologique porteur de minerai obtenu par des procédés d'extraction minière pour l'alimentation d'une usine). Ainsi, si le matériel minier est entreposé à un kilomètre ou plus d'un endroit visé au paragraphe 1 de l'article (5), il doit être protégé du vent par au moins une des méthodes prévues à l'article 4, alors que s'il est entreposé à moins d'un kilomètre d'un endroit visé au paragraphe 1 de l'article 5, il doit être protégé du vent par au moins deux des méthodes prévues à l'article 4. Ces méthodes prévues à l'article 4 comprennent notamment la mise en place de barrières naturelles composées d'arbres, l'entreposage du matériel de telle sorte que son axe longitudinal soit parallèle à la direction du vent dominant, l'entreposage sous le niveau du sol si le matériel minier est entreposé dans une mine à ciel ouvert et l'entreposage du matériel entre trois murs, à la hauteur du plus

[198] https://www.ontario.ca/document/technical-standards-manage-air-pollution-0/mining-sites-industry-standard (Annexes 8-A et 8-B)

petit des trois murs. Enfin, il peut s'agir d'une méthode qui, selon le directeur, réduit la décharge de particules en suspension à partir du matériel entreposé.

L'article 5 prévoit que le matériel contenant du minerai résultant du broyage et du criblage du matériel minier et destiné à être utilisé dans la production de concentré doit être entreposé dans un bâtiment fermé. S'il s'agit d'une installation minière déjà existante, ce matériel contenant du minerai peut être entreposé de manière à ce qu'il soit suffisamment humidifié pour ne pas être volatile et avec au moins l'une des méthodes de confinement prévues à l'article 4, s'il est situé à plus d'un kilomètre d'un endroit visé au paragraphe 5 de l'article 1. Dans les même conditions, l'option de l'entreposage entre trois murs, à la hauteur du plus petit des trois murs, est également permise. L'article 6 prévoit quant à lui que le minerai concentré doit également être entreposé.

La section 3 de la norme sectorielle prévoit également certaines procédures qui doivent être respectées quant à la manipulation du matériel contenant un contaminant. L'article 7 prévoit notamment que la poussière émise par le transfert d'un contaminant vers un point de transfert situé dans un bâtiment fermé doit être éliminée à l'aide d'un dispositif de contrôle de la pollution de l'air. Si un tel transfert se fait à l'extérieur, d'autres précautions, comme le pose d'une bâche sur les wagons de transport, doivent aussi être prises. L'article oblige également les entreprises à installer les convoyeurs à l'intérieur de bâtiments fermés ou de couvrir les courroies.

Les articles 9 et 10 imposent des conditions pour la manipulation et le traitement qui traitent de des procédures à respecter si la vitesse du vent est plus grande que la vitesse maximale enregistrée dans le Guide de Bonne Pratiques et de la création de barrières naturelles lorsque les opérations se font à moins d'un kilomètre de la zone visée au paragraphe 5 de l'article 1.

Les activités de broyage, de tamisage et de séchage sont elles aussi, en vertu des articles 11 à 13, soumises à l'obligation d'être réalisées à l'intérieur et doivent être dans certains cas passer par des processus d'humidification et de contrôle de la qualité de l'air.

De plus, les résidus doivent être entreposés dans un bassin de rétention de résidus ou de façon à éviter leur dispersion par le vent en vertu des articles 14 et 15.

La section 8 contient les exigences relatives aux routes. Le premier paragraphe de l'article 18 prévoit que les entreprises soumises à la norme technique sectorielle ont l'obligation

d'identifier les segments de route qui, sur le site, sont susceptibles de contribuer de manière significative au rejet de contaminant, contribuant ainsi à affecter de manière négative les endroits visés au cinquième paragraphe de l'article 1. La vitesse à laquelle circulent les véhicules, le volume de circulation, le poids des véhicules, la distance par rapport à un endroit visé à 1(5) et la probabilité qu'une plainte du public concernant ce segment ou qu'une plainte ait déjà été faite au cours des cinq dernières années sont notamment des facteurs qui doivent être pris en compte afin de déterminer si un segment routier est à risque.

L'identification de ces segments entraîne certaines conséquences, Par exemple, les camions qui les empruntent doivent, en vertu de l'article 20, respecter certaines normes quant à l'humidification des matériaux qu'ils transportent. De plus, l'article 22, prévoit que ces routes requièrent un entretien plus particulier. Ainsi, pour les segments pavés, des camions d'aspiration doivent circuler pour enlever la poussière résiduelle en fonction d'une fréquence prévue au guide des bonnes pratiques. Pour les routes non-pavées, l'application d'eau ou d'anti-poussière chimique est obligatoire. La surface d'une telle route doit également être couverte de matériaux agrégés, compactés ou calibrés à une fréquence égale ou supérieure à la fréquence minimale prévue dans le guide des bonnes pratiques.

C) Plan de gestion des poussières («3Dust management plan»)

Bien que la norme sectorielle ne fasse pas explicitement mention d'un plan de gestion des poussières, les obligations de se conformer aux meilleures pratiques stipulées pour chaque type de source, de préparer des tableaux de suivi (récapitulatif des paramètres des conditions opératoires, récapitulatif des paramètres de suivi des sources d'émission extérieures, plan de suivi et d'échantillonnage, récapitulatif inspection visuelle, récapitulatif inspection et entretien, meilleures pratiques par type de source, méthodes de gestion requise), et l'établissement de la procédure des meilleures pratiques remplissent cette fonction.

Ces exigences sont-elles suggérées ou exigées comme condition d'obtention des autorisations et permis de l'activité ou du projet?

L'industrie qui choisit de suivre la norme sectorielle doit se conformer aux exigences de la norme, quant à ses sources d'émission existantes. Il faut que l'industrie s'assure que ses nouvelles sources d'émission soient gérées de façon aussi efficace, sinon meilleure, que les méthodes utilisées pour des sources similaires.

5.11 Mesures de suivi de la qualité de l'air ambiant

La norme technique sectorielle impose des mesures de monitoring des émissions atmosphériques plutôt que de suivi de la qualité de l'air ambiant. En conséquence, les informations relatives au suivi de la qualité de l'air se retrouvent dans la section 5.4.

A priori, le programme de suivi de la qualité de l'air de Vale (9 stations de PST, dont 5 d'entre elles sont équipées de PM10) ne devrait pas faire l'objet de modifications, ne serait-ce que pour comparer les futures données aux données historiques. D'autres stations pourraient s'ajouter pour s'ajuster aux exigences de la norme sectorielle, le cas échéant.

5.11.1 Monitoring des émissions atmosphériques (sources ponctuelles, cheminées)

5.11.1.1 Échantillonnage

L'article 27 prévoit que les entreprises doivent s'assurer d'avoir des méthodes de surveillance et d'échantillonnage qui s'inscrivent dans le cadre d'un plan d'échantillonnage afin d'évaluer l'efficacité des méthodes de gestion des contaminants.

L'entreprise devra soumettre un plan d'échantillonnage (Part IX General Operation and Maintenance) détaillant pour chaque source d'émission la méthode d'échantillonnage, le paramètre à analyser, la localisation du point de prélèvement, le type de capteur ou de méthode d'échantillonnage à utiliser, la fréquence d'échantillonnage, les méthodologies d'échantillonnage et d'analyse, tout résultat d'échantillonnage pour un contaminant enregistré de la source qui a été prélevé dans les trois années précédant le dépôt de la demande s'il y a lieu, de quelle façon les valeurs des mesures des trois années précédentes peuvent être utilisées pour calculer la valeur la plus élevée d'une plage de fonctionnement normale de la source d'émission. Le Ministère évaluera le plan proposé et imposera des correctifs, le cas échéant.

5.11.1.2 Périodicité : annuel ? aux 3 ans? «à la suite d'une campagne d'échantillonnage (ex. : art. 200 du RRA)»

L'article 48 prévoit que les rapports de conformité de l'entreprise à la norme technique sectorielle doivent être produits annuellement. Il est possible que le ministère exige que lui soient soumis les rapports des essais aux cheminées dans les 4 mois suivant la fin de la campagne d'échantillonnage, tel que c'est le cas actuellement pour Vale.

5.11.1.3 Reporting/rapport : les exigences de produire rapport et le contenu du rapport

La section IX de la norme technique sectorielle traite des obligations générales d'opération et de maintenance. Les articles contenus dans cette section concernent surtout les méthodes de suivi qui doivent être respectées par les entreprises qui se soumettent à la norme technique sectorielle.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES CONDITIONS OPÉRATOIRES

Ainsi, l'article 23 rend obligatoire la création d'un tableau récapitulatif des paramètres d'opération. Ce tableau doit entre autres contenir une description des équipements utilisés, qu'il s'agisse d'un dispositif antipollution atmosphérique ou d'une autre méthode de gestion utilisée dans l'installation minière.

Les informations suivantes doivent être fournies pour chaque équipement: l'origine de la source de contamination que l'équipement doit enrayer, les paramètres d'opération à utiliser pour évaluer l'efficacité de l'équipement, la fréquence de mesure pour chaque paramètre d'opération, les emplacements de mesure pour chaque paramètre d'opération ainsi que la plage d'opération normale pour chaque paramètre d'opération de l'équipement. À titre d'exemple, un équipement pourrait être un dépoussiéreur à voie humide destiné à éliminer les poussières.

Si des écarts sont constatés par rapport au fonctionnement normal prévu de l'équipement, l'article 25 prévoit que les mesures nécessaires doivent être prises afin que la situation soit rétablie.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES SOURCES DE CONTAMINATION EXTÉRIEURES

Un tableau doit également être établi, selon l'article 26, pour toutes les sources de contamination d'origine extérieure, ce qui comprend les routes. Ces sources sont décrites, en vertu de l'article 1, comme une pièce d'équipement, un lieu ou une chose qui rejette un contaminant enregistré. Ces sources doivent être extérieures, ce qui signifie, en vertu de l'article 26, que des sources contenues à l'intérieur d'un bâtiment fermé, d'un bâtiment doté d'un toit et de trois murs ou d'un bassin de rétention ne sont pas visées. Ce tableau doit indiquer toutes les sources de contamination extérieures sur la propriété ainsi que les méthodes de gestion qui leur sont associées. Également, le paramètre mesuré doit être indiqué. À titre d'exemple, pour les routes, que ces dernières soient à risque ou non, le paramètre de la concentration en particules dans l'air ou de la charge en particules peut être utilisé en vertu du septième paragraphe de l'article 26.

(voir section précédente).

AUTRES TABLEAUX SYNTHÈSES

De semblables tableaux sont aussi obligatoires en ce qui concerne la fréquence et les objectifs de l'inspection visuelle de sources de contamination (art. 31) ainsi que les méthodes d'entretien et leur fréquence (art. 34).

Vérifier les articles qui entreront en vigueur en 2020.

Annexes

Annexe A[199]: Plusieurs standards selon différentes moyennes de temps

Item	CAS No.	Contaminant	One Hour Standard (µg/m³)	24 Hour Standard (µg/m³)	Other Time Period Standard (µg/m³, unless otherwise indicated)
1.	75-07-0	Acetaldehyde	none	500	500 (half hour)
2.	67-64-1	Acetone	none	11,880	none
3.	75-05-8	Acetonitrile	none	70	
4.	107-02-8	Acrolein	4.5	0.4	none
5.	79-06-1	Acrylamide	none	15	none
6.	107 13 1	Acrylonitrile	none	0.6	none
7.	7664-41 7	Ammonia	none	100	none
8.	7440-36-0	Antimony	none	25	none
9.	7784-42-1	Arsine	none	5	10 (half hour)
9.1	71-43-2	Benzene	none	none	0.45; annual
9.2	50-32-8	Benzo(a)pyrene	none	none	0.00001; annual
10.	7440-41-7	Beryllium and compounds	none	0.01	none
11.	7440-42-8	Boron	none	120	none
12.	10294-33-4	Boron Tribromide	none	35	none
13.	10294-34-5	Boron Trichloride	none	35	none
14.	7637-07-2	Boron Trifluoride	none	2	none
15.	7726-95-6	Bromine	none	20	none
15.0.1	106-99-0	Butadiene, 1,3	none	none	2; annual
15.1	71-36-3	Butanol, n-	none	920	none
16.	7440-43-9	Cadmium and Cadmium Compounds	none	0.025	none
17.	1305-62-0	Calcium Hydroxide	none	13.5	none
18.	1305-78-8	Calcium Oxide	none	10	none
19.	1333-86-4	Carbon Black	none	10	none
20.	630-08-0	Carbon Monoxide	none	none	6000 (half hour)
21.	REVOKED: O. Reg. 507/09, s. 35 (2).				

[199] *Air Pollution – Local Air Quality,* O.Reg., 419/05, schedule 3.

22.	56-23-5	Carbon Tetrachloride	none	2.4	none
23.	7782-50-5	Chlorine	none	10	none
24.	10049-04-4	Chlorine Dioxide	none	2	none
24.1	75-00-3	Chloroethane	none	5,600	none
25.	67-66-3	Chloroform	none	1	none
25.1	7440-47-3	Chromium Compounds (Hexavalent)	none	none	0.00014; annual
25.2	7440-47-3	Chromium and Chromium Compounds (Metallic, Divalent and Trivalent)	none	0.5	none
26.	7440-50-8	Copper	none	50	none
27.	1319-77-3	Cresols	none	75	none
28.	110-82-7	Cyclohexane	none	6,100	none
29.	17702-41-9	Decaborane	none	25	none
30.	117-81-7	Di(2-ethylhexyl) Phthalate	none	50	none
31.	19287-45-7	Diborane	none	10	none
32.	131-15-7	Dicapryl Phthalate	none	120	none
33.	106-46 7	Dichlorobenzene, 1,4	none	95	none
33.1	75-34 3	Dichloroethane, 1,1	none	165	none
34.	117-84-0	Di-n-Octyl Phthalate	none	120	none
34.1	not applicable	Dioxins, Furans and Dioxin-like PCBs	none	0.0000001	none
35.	not applicable	Dustfall	none	none	7 g/m^2; 30 day
36.	100-41-4	Ethyl Benzene	none	1,000	none
37.	60-29-7	Ethyl Ether	none	8,000	none
38.	107-06-2	Ethylene Dichloride	none	2	none
38.1	75-21-8	Ethylene Oxide	none	0.2	none
39.	1309-37-1	Ferric Oxide	none	25	none
40.	7664-39-3	Fluorides (as HF) – Gaseous (Growing Season)	none	0.86	0.34; 30 day
41.	7664-39-3	Fluorides (as HF) – Total (Growing Season)	none	1.72	0.69; 30 day
42.	7664-39-3	Fluorides (as HF) – Total (Non-Growing Season)	none	3.44	1.38; 30 day
43.	50-00-0	Formaldehyde	none	65	none
44.	64-18-6	Formic Acid	none	500	none
45.	98-00-0	Furfuryl Alcohol	none	1,000	none
46.	4035-89-6	HDI Biuret (HDI-BT)	none	3	none
47.	3779-63-3	HDI Isocyanurate (HDI-IC)	none	3	none
48.	28182-81-2	HDI Polyisocyanate (HDI-BT & HDI-IC)	none	3	none
48.1	142-82-5	Heptane, n-	none	11,000	none
49.	822-06-0	Hexamethylene Diisocyanate (HDI) Monomer	none	0.03	none
49.1	110-54-3	Hexane, n- (part of a mixture)	none	2,500	none
49.2	110-54-3	Hexane, n- (n-Hexane and Hexane isomers only)	none	7,500	none
50.	7647-01-0	Hydrogen Chloride	none	20	none
51.	74-90-8	Hydrogen Cyanide	none	8	none
51.1	7783-06-4	Hydrogen Sulphide	none	7	13; 10 minute
52.	15438-31-0	Iron (metallic)	none	4	none
52.1	78-83-1	Isobutanol	none	4,600	none
53.	67-63-0	Isopropanol (Isopropyl Alcohol)	none	7,300	none

54.	98-82-8	Isopropyl Benzene	none	400	none
55.	7439-92-1	Lead and Lead Compounds	none	0.5	0.2; 30 day
56.	7439-93-2	Lithium	none	20	none
57.	7580-67-8	Lithium Hydrides	none	2.5	none
58.	1309-48-4	Magnesium Oxide	none	120	none
58.0.1	7439-96-5	Manganese and Manganese Compounds	none	0.4	none
58.1	not applicable	Mercaptans	none	none	13; 10 minute
59.	7439-97-6	Mercury (Hg)	none	2	none
60.	7439-97-6	Mercury (as Hg) – alkyl compounds	none	0.5	none
61.	101-68-8	Methane Diphenyl Diisocyanate (MDI Monomer)	none	0.7	none
62.	67-56-1	Methanol (Methyl Alcohol)	none	4,000	none
62.1	74-87-3	Methyl Chloride	none	320	none
63.	71-55-6	Methyl Chloroform (1,1,1-Trichloroethane)	none	115,000	none
64.	78-93-3	Methyl Ethyl Ketone (2-Butanone)	none	1,000	none
65.	624-83 9	Methyl Isocyanate	none	1	none
66.	75-09-2	Methylene Chloride	none	220	none
67.	not applicable	Milk Powder	none	20	none
68.	not applicable	Mineral Spirits	none	2,600	none
69.	REVOKED: O. Reg. 516/07, s. 30 (10).				
70.	REVOKED: O. Reg. 516/07, s. 30 (10).				
71.	REVOKED: O. Reg. 516/07, s. 30 (10).				
72.	7440-02-0	Nickel and Nickel Compounds	none	none	0.04; annual
73.	13463-39-3	Nickel Carbonyl	none	0.5	none
74.	7697-37-2	Nitric Acid	none	35	none
75.	139-13-9	Nitrilotriacetic Acid	none	120	none
76.	10102-44-0	Nitrogen Oxides	400	200	none
77.	10028-15-6	Ozone	165	none	none
78.	19624-22-7	Pentaborane	none	1	none
79.	127-18-4	Perchloroethylene	none	360	none
80.	108-95-2	Phenol	none	30	none
81.	75-44 5	Phosgene	none	45	none
82.	7664-38-2	Phosphoric Acid	none	7	none
83.	85-44-9	Phthalic Anhydride	none	120	none
84.	9016-87-9	Polymeric Methane Diphenyl Diisocyanate (PMDI)	none	0.7	none
84.1	115-07-1	Propylene	none	4,000	none
85.	75-56-9	Propylene Oxide	none	1.5	none
86.	7440-22-4	Silver	none	1	none
87.	100-42-5	Styrene	none	400	none
88.	7446-09-5	Sulphur Dioxide	690	275	none
89.	7664-93-9	Sulphuric Acid	none	5	none
90.	not applicable	Suspended Particulate Matter (< 44 µm Diameter)	none	120	none
91.	13494-80-9	Tellurium (except hydrogen telluride)	none	10	none

92.	7440-31-5	Tin	none	10	none
93.	7440-32-6	Titanium	none	120	none
94.	584-84-9	Toluene Di-isocyanate, 2,4-	none	0.2	none
95.	26471-62-5	Toluene Di-isocyanate, 2,4- and 2,6- (mixed isomers)	none	0.2	none
95.1	not applicable	Total Reduced Sulphur (TRS) Compounds (facilities that are part of the class identified by NAICS code 3221 (Pulp, Paper and Paperboard Mills))	none	14	13; 10 minute
95.2	not applicable	Total Reduced Sulphur (TRS) Compounds (other facilities)	none	7	13; 10 minute
96.	79-01-6	Trichloroethylene (TCE)	none	12	none
97.	76-13-1	Trifluorotrichloroethane	none	800,000	none
97.1	526-73-8	Trimethylbenzene, 1,2,3- (individual isomer or Trimethylbenzene mixture)	none	220	none
97.2	95-63-6	Trimethylbenzene, 1,2,4- (individual isomer or Trimethylbenzene mixture)	none	220	none
97.3	108-67-8	Trimethylbenzene, 1,3,5- (individual isomer or Trimethylbenzene mixture)	none	220	none
97.4	7440-61-1	Uranium and Uranium Compounds in particulate matter that is less than 10 µm in diameter	none	none	0.03; annual
98.	7440-62-2	Vanadium	none	2	none
99.	75-01-4	Vinyl Chloride	none	1	none
100.	75-35-4	Vinylidene Chloride	none	10	none
101.	1330-20-7	Xylenes	none	730	none
102.	7440-66-6	Zinc	none	120	none

Annexe B[200] : Les secteurs visés pour 2010

Item	NAICS Code	North American Industry Classification System Description
1.	2122	Metal Ore Mining
2.	221112	Fossil-Fuel Electric Power Generation
3.	324110	Petroleum Refineries
4.	3251	Basic Chemical Manufacturing
5.	3252	Resin, Synthetic Rubber, and Artificial and Synthetic Fibres and Filaments Manufacturing
6.	3311	Iron and Steel Mills and Ferro-Alloy Manufacturing
7.	331410	Non-Ferrous Metal (except Aluminum) Smelting and Refining

Annexe C[201] : Les secteurs visés pour 2013

Item	NAICS Code	North American Industry Classification System Description
1.	3221	Pulp, Paper and Paperboard Mills
2.	324190	Other Petroleum and Coal Products Manufacturing
3.	325	Chemical Manufacturing
4.	326150	Urethane and Other Foam Product (except Polystyrene) Manufacturing
5.	3279	Other Non-Metallic Mineral Product Manufacturing
6.	331	Primary Metal Manufacturing
7.	332810	Coating, Engraving, Heat Treating and Allied Activities MEX
7.1	332999	All Other Miscellaneous Fabricated Metal Product Manufacturing MEX
8.	336	Transportation Equipment Manufacturing
9.	5622	Waste Treatment and Disposal

Annexe D[202]: Tableau des seuils de risques supérieurs

tem	CAS No.	Contaminant	Half Hour Upper Risk Threshold (µg/m³)	Other Time Period Upper Risk Threshold (µg/m³)
1.	75-07-0	Acetaldehyde	5,000	5,000 (24 hour)
2.	67-64-1	Acetone	118,800	118,800 (24 hour)
3.	75-05-8	Acetonitrile	2,100	700 (24 hour)
4.	107-02-8	Acrolein	12	4 (24 hour)
5.	107 13 1	Acrylonitrile	180	60 (24 hour)
6.	7664-41 7	Ammonia	3,600	1,000 (24 hour)
6.0.1	71 43-2	Benzene	300	100 (24 hour)
6.0.2	50-32-8	Benzo(a)pyrene	0.015	0.005 (24 hour)
6.0.3	106-99-0	Butadiene, 1,3-	900	300 (24 hour)

[200] *Air Pollution – Local Air Quality,* O.Reg., 419/05, schedule 4.
[201] *Air Pollution – Local Air Quality,* O.Reg., 419/05, schedule 5.
[202] *Air Pollution – Local Air Quality,* O.Reg., 419/05, schedule 6.

6.1	71-36-3	Butanol, n-	18,000	6,000 (24 hour)
6.2	7440-43-9	Cadmium and Cadmium Compounds	0.75	0.25 (24 hour)
7.	56-23-5	Carbon Tetrachloride	72	24 (24 hour)
8.	7782-50-5	Chlorine	300	100 (24 hour)
8.1	10049-04-4	Chlorine Dioxide	60	20 (24 hour)
8.2	75-00-3	Chloroethane	75,000	25,000 (24 hour)
9.	67-66-3	Chloroform	300	100 (24 hour)
9.1	7440-47-3	Chromium Compounds (Hexavalent)	0.21	0.07 (24 hour)
9.2	7440-47-3	Chromium and Chromium Compounds (Metallic, Divalent and Trivalent	15	5 (24 hour)
10.	110-82-7	Cyclohexane	183,000	61,000 (24 hour)
11.	117-81-7	Di(2-ethylhexyl) Phthalate	1,500	500 (24 hour)
12.	106-46-7	Dichlorobenzene, 1,4-	2,850	950 (24 hour)
12.1	75-34-3	Dichloroethane, 1,1-	4,950	1,650 (24 hour)
12.2	not applicable	Dioxins, Furans and Dioxin-like PCBs	0.000003	0.000001 (24 hour)
13.	100-41-4	Ethyl Benzene	14,000	10,000 (24 hour)
14.	60-29-7	Ethyl Ether	7,000	80,000 (24 hour)
15.	107-06-2	Ethylene Dichloride	600	200 (24 hour)
15.1	75-21-8	Ethylene Oxide	60	20 (24 hour)
16.	4035-89-6	HDI Biuret (HDI-BT)	30	30 (24 hour)
17.	3779-63-3	HDI Isocyanurate (HDI-IC)	30	30 (24 hour)
18.	28182-81 2	HDI Polyisocyanate (HDI BT & HDI IC)	30	30 (24 hour)
19.	822-06-0	Hexamethylene Diisocyanate (HDI) Monomer	1	0.3 (24 hour)
19.1	110-54-3	Hexane, n- (part of a mixture)	25,000	25,000 (24 hour)
19.2	110-54-3	Hexane, n- (n-Hexane and Hexane isomers only)	25,000	25,000 (24 hour)
20.	7647-01-0	Hydrogen Chloride	600	200 (24 hour)
21.	74-90-8	Hydrogen Cyanide	240	80 (24 hour)
21.1	7783-06-4	Hydrogen Sulphide	210	70 (24 hour)
21.2	78-83-1	Isobutanol	48,000	16,000 (24 hour)
22.	67-63-0	Isopropanol (Isopropyl Alcohol)	220,000	73,000 (24 hour)
22.1	7439-92-1	Lead and Lead Compounds	6	2 (24 hour)
22.1.1	7439-96-5	Manganese and Manganese Compounds	12	4 (24 hour)
23.	101-68-8	Methane Diphenyl Diisocyanate (MDI Monomer)	7	7 (24 hour)
23.1	74-87-3	Methyl Chloride	9,600	3,200 (24 hour)
24.	78-93-3	Methyl Ethyl Ketone (2-Butanone)	30,000	10,000 (24 hour)
25.	624-83-9	Methyl Isocyanate	10	10 (24 hour)
26.	75-09-2	Methylene Chloride	22,000	22,000 (24 hour)
27.	not applicable	Mineral Spirits	30,000	26,000 (24 hour)
28.	7440-02-0	Nickel and Nickel Compounds	6	2 (24 hour)
29.	REVOKED: O. Reg. 516/07, s. 32 (2).			
30.	127-18-4	Perchloroethylene	10,800	3,600 (24 hour)
31.	108-95 2	Phenol	900	300 (24 hour)
31.1	7664-38-2	Phosphoric Acid	210	70 (24 hour)
32.	9016-87-9	Polymeric Methane Diphenyl Diisocyanate (PMDI)	7	7 (24 hour)

32.1	115-07-1	Propylene	120,000	40,000 (24 hour)
33.	75-56-9	Propylene Oxide	450	150 (24 hour)
33.1	7664-93-9	Sulphuric Acid	30	15 (24 hour)
34.	584-84-9	Toluene Di-isocyanate, 2,4-	2	2 (24 hour)
35.	26471-62-5	Toluene Di-isocyanate, 2,4- and 2,6- (mixed isomers)	2	2 (24 hour)
35.1	not applicable	Total Reduced Sulphur (TRS) Compounds (facilities that are part of the class identified by NAICS code 3221 (Pulp, Paper and Paperboard Mills))	210	70 (24 hour)
35.2	not applicable	Total Reduced Sulphur (TRS) Compounds (other facilities)	210	70 (24 hour)
36.	79-01-6	Trichloroethylene (TCE)	3,600	1,200 (24 hour)
36.1	526-73-8	Trimethylbenzene, 1,2,3- (individual isomer or Trimethylbenzene mixture)	6,600	2,200 (24 hour)
36.2	95-63-6	Trimethylbenzene, 1,2,4- (individual isomer or Trimethylbenzene mixture)	6,600	2,200 (24 hour)
36.3	108-67-8	Trimethylbenzene, 1,3,5- (individual isomer or Trimethylbenzene mixture)	6,600	2,200 (24 hour)
36.4	7440-61 1	Uranium and Uranium Compounds in particulate matter that is less than 10 µm in diameter	4.5	1.5 (24 hour)
37.	75-01 4	Vinyl Chloride	300	100 (24 hour)
38.	1330-20-7	Xylenes	22,000	7,300 (24 hour)

Annexe E[203] : Position des moniteurs pour la compagnie VALE

Annexe F

Selon l'article 32, une personne peut demander une SSS au Directeur pour un contaminant contenu dans l'annexe 3, dont le Nickel et les composés du Nickel[204], dans certains cas où l'établissement émettrait, causerait ou permettrait l'émission d'un contaminant, qui, selon le modèle de dispersion, ferait en sorte que l'émissions résulterait en une concentration à u POI excédant les limites prévues à l'annexe 3.

[203] *Ambient Air Sampling Program Fourth quarter 2017 Report, City of Greater Sudburt, Ontario*, Vale Canada limited, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-environment/environmental-reporting-sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/2017_Q4_Report-Metals.pdf, 9 février 2018.

BIBLIOGRAPHIE

Lois et règlements

Regulation : Air Pollution – Local Air quality, Ontario Regulation 419/05.

Loi sur la protection de l'environnement, L.R.O. 1990, chap. E-19.

Documents complémentaires de lois et règlement

Ontario Air Standards for Nickel and Nickel Compounds, Standards Development Branch for Ontario Ministry of the Environment, June 2011, 171 p.

Proposal to Amend Ontario Regulation 419/05: Air Pollution – Local Air Quality, under the Environmental Protection Act, to include an Ontario Air Standard for Nickel and Nickel Compounds, Ministry of Environment and Climate Change, EBR Registry Number: 010-7188, June 22 2011.

Technical standards to manage air pollution, Version 6.0., published by the Minister of Environment and Climate Change, March 22 2018

Procedure for preparing an emission summary and dispersion modelling report (Guideline A-10), Version 4.1

Documents pour Glencore

2016 Annual Report on the Actions plan, Sudbury Integrated Nickel Operation a Glencore company, prepared by Darryl Pike and Chris Ransom, http://www.sudburyino.ca/en/environment/EnvironmentalPerformance/2016%20SSS%20Annual%20Report.pdf, 20p.

Approval for Site-specific Standards Issued Pursuant to s.35(1) of O. Reg. 419/05, Ministère de l'environnement et de l'action en matière de changement climatique, Numéro de référence : 7838-9TZKZA, pour Glencore, http://www.downloads.ene.gov.on.ca/envision/env_reg/er/documents/2015/012-4796_draftapproval.pdf, 10p.

Documents pour Vale

2016 Environment Management System & Community Engagement Report, Vale Canada, Ontario, 28 Mars 2017, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-

[204] *Air Pollution – Local Air Quality*, O.Reg., 419/05, schedule 3.

environment/environmental-reporting-sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/2016%20Community%20Engagement%20Report%20FINAL.PDF, 17 p.

Action Plan Status Update : Copper Cliff Site-Specific Standard Approvals for Nickel, Vale, 22 septembre 2017, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-environment/environmental-reporting-sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/Ni%20SSS%20Action%20Plan%20Update%2020170922.pdf, 6 p.

Ambient Air Sampling Program Fourth Quarter 2017 Report City of Greater Sudbury, Ontario, Vale Canada Limited, 9 Février 2018, http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/sudbury/sudbury-environment/environmental-reporting-sudbury/air-quality-monitoring-results/Documents/2017_Q4_Report-Metals.pdf, 40p.

Avis de proposition d'acte instrumentaire, Ministère de l'Environnement et d'action en matière de changement climatique, EBR Registry Number: 011-1617, 28 décembre 2011, http://www.ebr.gov.on.ca/ERS-WEB-External/displaynoticecontent.do?noticeId=MTExMzMx&statusId=MTcyMjk3&language=en.

6. La Californie

Aux yeux de plusieurs observateurs, la Californie est l'avant-garde du combat écologique aux États-Unis; elle apparaît aussi comme un chef de file pour la réglementation des émissions polluantes atmosphériques et l'imposition de normes de qualité de l'air. Comme nous l'avons vu, le Québec s'est directement inspiré des normes californiennes pour réglementer les émissions de nickel dans l'air. Évidemment, le Québec ne peut, sur aucun aspect, se comparer à cet État américain qui est la sixième économie mondiale - tout juste devant la France - et qui compte une population plus grande que celle du Canada tout entier (39,54 millions 2017 contre 35 151 728 pour le Canada en 2016). En outre, la géographie particulière de cet État, coincé entre la montagne et la mer, et les effets des changements climatiques- dont les sécheresses extrêmes- font des villes de la Californie l'un des pires endroits pour respirer en Amérique[205]. L'ozone au

[205] American Lung Association, *State of the air* 2018 *Report*, [http://www.lung.org/assets/documents/healthy-air/state-of-the-air/sota-2018-full.pdf]. Zoë Schlanger, "California is home to eight of the ten cities in America where air pollution is worst" Quartz Media, April 19, 2017 [https://qz.com/963089/california-is-home-to-eight-of-the-10-cities-in-america-where-air-pollution-is-worst/]. Dr. Mario Picazo Meteorologist, Ph.D.,"California claims eight of Top 10 worst polluted U.S. cities", The Weather Network, April 19, 2018 [https://www.theweathernetwork.com/us/news/articles/california-leads-list-of-top-us-polluted-cities-american-lung-association-state-of-the-air-report-unhealthy-ozone-pollution-warmer-temperatures-health-effects-united-states/99772].Consulté le 26-5-2018). *During the past 50 years the state has done more than any other to fight air pollution, but according to the American Lung Association, it also has the biggest problems in terms of air quality. In fact, eight of the 10 cities with the highest year-round concentration of particulate matter or PM2.5*

sol, les PM $_{2,5}$ et le smog sont la cause de multiples problèmes de santé, notamment l'asthme, le cancer du poumon, les décès prématurés et les retards de développement chez les enfants[206]. Le Sud de la Californie (*South Coast Air Basin*) est particulièrement touché par la pollution de l'air.On peut probablement penser que le droit californien traduit, dans une certaine mesure, des réalités environnementales inquiétantes qui ne se trouvent pas forcément ailleurs. Mais puisque la Californie apparaît, pour le Québec, comme une référence historique dans la détermination des valeurs limite pour le nickel[207], il nous semble nécessaire de tracer les contours généraux du droit californien sur ce chapitre.

Comme tel, le nickel n'apparaît pas soulever de problématique spéciale en Californie. Selon l'*Office of Environmental Health Hazard Assessment*[208] (*OEHHA*) de la Californie, l'origine de ce polluant dans l'atmosphère de la Californie provient notamment de la combustion de combustibles fossiles, la fabrication d'alliages de nickel, la production de ciment, l'extraction et le broyage de l'amiante, l'incinération de boues municipales, les fonderies de fer et d'acier, le traitement du pétrole, la galvanoplastie et la gazéification du charbon[209].

Comme le tableau suivant le démontre, les concentrations de nickel dans l'air ambiant, en termes de moyennes annuelles, se trouvent très loin en deçà des valeurs limites recommandées par l'OEHHA (0.014 µg Ni/m^3 ou 14ng/m^3). Depuis 2010, et tel qu'il appert du tableau ci-dessous, on peut affirmer que la moyenne des moyennes annuelles se situe autour de 4ng/m^3.

Annual Statewide Toxics Summary-Nickel

---

between 2103 and 2015 were in the Golden State. California is also home to seven of the 10 U.S. cities with the worst ozone pollution.
Il s'agit des villes suivantes: Los Angeles-Long Beach, Bakersfield, Visalia-Porterville-Hanford, Fresno-Madera, Sacramento-Roseville, San Diego-Carlsbad, Modesto-Merced, Phoenix-Mesa-Scottsdale, Redding-Red Bluff.

[206] American Lung Association, *Id.*, p.35 et suivantes.

[207] Voir le Chapitre 4 sur la norme québécoise.

[208] OEHHA. Le Bureau de l'évaluation environnementale des risques pour la santé est l'organisme principal de l'État pour l'évaluation des risques pour la santé posés par les contaminants environnementaux. L'OEHHA a pour mission de protéger la santé humaine et l'environnement par l'évaluation scientifique des risques posés par les substances dangereuses. Le bureau est l'un des cinq départements d'État au sein de la California Environmental Protection Agency (CalEPA).
L'OEHHA doit élaborer des lignes directrices pour l'évaluation des risques pour la santé dans le cadre du programme des points chauds sur la toxicité de l'air (*Air Toxics Hot Spots Program*) (article 44360 (b) (2) du Code de la santé et de la sécurité).

[209]Office of Environmental Health Hazard Assessment, *Nickel Reference Exposure Levels Nickel and Nickel compounds. Nickel oxide. Reference exposure levels* (RELs) February 2012, p.12 [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/032312nirelfinal.pdf]. Consulté le 3 mai 2018.

En nanogrammes par mètre cube. (*Nanograms per cubic meter)*

Year	Months Present	Minimum	Median	Mean	90th Percentile	Maximum	Standard Deviation	Number Observations	of Detection Limit	Estimated Risk
2017	[redacted]	0.955	3	3.9	9	31	4.4	420	1.91	3
2016	[redacted]	0.955	0.955	2.7	4	62	5.0	424	1.91	2
2015	[redacted]	0.955	0.955	4.2	5	569	28.5	418	1.91	3
2014	[redacted]	0.95	0.95	2.6	6	23	2.9	398	1.9	2
2013	[redacted]	0.65	3	*	5	37	3.6	431	1.3	*
2012	[redacted]	4.5	4.5	4.9	4.5	90	4.3	463	9	4
2011	[redacted]	4.5	4.5	5.5	4.5	240	12.9	441	9	4
2010	[redacted]	4.5	4.5	4.7	4.5	35	2.0	428	9	3
2009	[redacted]	4.5	4.5	5.2	4.5	36	3.3	520	9	4
2008	[redacted]	*	*	*	*	*	*	0	*	*
2007	[redacted]	4.5	4.5	7.8	16	46	6.6	463	9	6
2006	[redacted]	*	*	*	*	*	*	0	*	*
2005	[redacted]	*	*	*	*	*	*	0	*	*
2004	[redacted]	*	*	*	*	*	*	0	*	*
2003	[redacted]	0.5	2	*	7	290	31.1	86	1	*
2002	[redacted]	0.5	3	4.5	8	35	4.1	491	1	3
2001	[redacted]	1	3	4.5	9	39	4.9	505	2	3
2000	[redacted]	1	3	4.2	8	34	3.8	472	2	3
1999	[redacted]	1	3	3.7	7	44	3.5	565	2	3
1998	[redacted]	1	2	3.4	6	60	4.6	561	2	3
1997	[redacted]	1	3	3.4	7	42	3.4	557	2	2
1996	[redacted]	1	3	3.6	7	49	3.7	595	2	3
1995	[redacted]	1	3	3.7	8	47	3.8	602	2	3
1994	[redacted]	1	3	4.1	8	43	3.6	585	2	3
1993	[redacted]	1	4	4.2	8	24	3.1	575	2	3
1992	[redacted]	1	3	4.1	8	35	3.7	554	2	3
1991	[redacted]	1	4	5.6	11	100	6.1	567	2	4
1990	[redacted]	0.5	4	5.1	10	32	4.1	600	1	4
1989	[redacted]	0.5	4	5.3	10	42	4.6	1005	1	4

Source: California Air resources Board [https://www.arb.ca.gov/adam/toxics/statepages/nistate.html]

On peut constater, en analysant ce tableau, que les concentrations de nickel dans l'air ambiant ont grandement diminué depuis les années 1990[210], puisqu'elles étaient alors de 7,3ng/m^3 en moyenne. Cela ne signifie pas pour autant que la communauté scientifique se soit désintéressée du nickel, bien au contraire; celle-ci a en effet défini des valeurs limite afin de neutraliser la survenance de risques inacceptables pour la santé publique. Par ailleurs, et c'est important de le noter, les moyennes statistiques nationales n'arriveront jamais à révéler des situations locales très problématiques du point de vue de la protection de la santé publique. À

l'heure actuelle, les scientifiques viennent tout juste de tirer leurs conclusions sur les effets du nickel sur les systèmes reproducteurs de l'humain[211].

Nous allons examiner rapidement l'état du droit fédéral américain sur la question du nickel, afin de constater que cette substance chimique n'est pas visée par des dispositions spéciales portant sur la qualité de l'air, même s'il est identifié comme un polluant toxique. Par contre, la Californie a édicté des normes précises sur le sujet. Il est vrai que le nickel ne fait pas partie des *Ambient Air Quality Standards* californiens, mais il est inscrit sur la liste des contaminants atmosphériques toxiques depuis les années 1990. Dans la mesure où l'on peut identifier des grandes installations qui seraient responsables d'émissions de nickel dans l'air, il se trouve potentiellement visé par le *Air Toxics "Hot Spots" Information and Assessment Act de 1987* et reconnu comme une substance cancérigène. Cette caractérisation du nickel comme substance dangereuse a conduit les autorités californiennes à fixer des *Reference Exposure Levels* pour neutraliser les effets non-cancérigènes du nickel et de ses composés en 2012.

6.1 L'absence d'une norme légale au niveau fédéral

La loi fédérale américaine sur la protection de l'atmosphère (*Clean Air Act*[212]), adoptée initialement en 1970, autorise l'Agence fédérale américaine pour la protection de l'environnement (*Environment Protection Agency- EPA*) à établir des normes nationales de qualité de l'air ambiant, afin de protéger la santé publique. Une norme de qualité de l'air (*Air Quality Standard*-NAAQS) définit la quantité maximale d'un polluant qui peut être présente dans l'air extérieur sur une période de temps spécifiée, sans nuire à la santé publique. L'Agence fédérale a établi des normes nationales pour six polluants : l'ozone troposphérique (O_3), le monoxyde de carbone (CO), le plomb, le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2) et les *Particulate Matters* (PM $_{2,5}$ et PM $_{10}$ (section 1.1). Ces six polluants sont techniquement

---

[210] Voir: Air Resources Board and The Department of Health Services, *Initial statement of reasons. Proposed identification of nickel as a toxic air contaminant. Report/Executive Summary.* June 1991, p.3 [https://www.arb.ca.gov/toxics/id/summary/nickel.pdf]. Consulté le 4 mai 2018. *Nickel has been detected in samples collected at the 20 monitoring stations of the ARB's ambient toxic air contaminant monitoring network. The estimated mean nickel concentrations for the years of 1985 and 1986 ranged from 2.8 nanograms per cubic meter (a nanogram is one billionth of a gram) in the Sacramento Valley Air Basin to 11.0 nanograms per cubic meter in the San Joaquin Valley Air Basin. The estimated mean statewide population-weighted exposure to nickel for the 20.3 million people represented by the ARB's monitoring network is 7.3 nanograms per cubic meter.*

[211] Voir plus bas, section 2.4

[212] *Air pollution prevention and control,* 42 USC CHAPTER 85, art. 7401 et suivants.

désignés comme des *Criteria Pollutants*[213]. Le nickel ne fait partie de cette courte liste. Par contre, il est identifié comme un polluant toxique dangereux (*Hazardous Air Pollutants - HAPs).*

6.1.1 Normes nationale de qualité de l'air pour six (6) polluants seulement, à l'exclusion du nickel

Le *Clean Air Act* exige que l'EPA réexamine et révise, si nécessaire, chacun des NAAQS à des intervalles de cinq ans, afin de s'assurer qu'ils soient basés sur les découvertes scientifiques les plus récentes. Le tableau ci-dessous montre l'année d'achèvement des examens les plus récents pour chaque NAAQS.

Pollutant	Final Rule Published
Particulate Matter	2012
Ozone	2015
Nitrogen Oxides	2010
Sulfur Oxides	2010
Carbon Monoxide	2011
Lead	2014

Source: California Air Resources Board, *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)* [[https://ww2.arb.ca.gov/resources/national-ambient-air-quality-standards]

La loi fédérale exige que tous les États atteignent les NAAQS dans des délais précis. Les zones de non-conformité doivent élaborer des plans pour les atteindre; les zones où ces objectifs sont atteints doivent développer des plans pour maintenir les acquis. L'incapacité d'un État à atteindre les NAAQS avant la date cible peut entraîner des pénalités, y compris la retenue des fonds fédéraux pour les routes.

Le *Clean Air Act* permet aux États américains d'adopter des normes de qualité de l'air supplémentaires ou plus strictes que les normes fédérales. Il va sans dire que ces derniers peuvent établir des normes pour certains polluants qui ne sont pas visés par les normes fédérales.

---

[213] Voir : OEHHA, *Criteria Pollutants,* [https://oehha.ca.gov/air/criteria-pollutants].Consulté le 25 mai 2018. Semble que l'*EPA* utilise ce terme parce qu'elle les réglemente après sur la base de critères scientifiques fondés sur la protection de la santé humaine et / ou l'environnement.

Le contrôle des normes s'effectue par le moyen du permis d'opération.

6.1.2 Normes technologiques potentielles pour 107 polluants atmosphériques dangereux - (*Hazardous Air Pollutants - HAPs*), dont les composés du nickel

Par ailleurs, dans le cadre du *Clean Air Act*, l'EPA identifie 187 substances toxiques[214] qu'elle appelle des polluants atmosphériques dangereux (*Hazardous Air Pollutants - HAPs*) et pour lesquelles on prévoit établir des normes technologiques de contrôle (*Maximum Achievable Control Technology -MACT*). Les composés du nickel font partie de cette liste[215]. Les normes technologiques sont définies à partir d'une liste de priorités, selon le degré de dangerosité du polluant. À notre connaissance, il n'existe pas de normes technologiques pour le nickel et ses composés, puisque d'autres substances chimiques sont considérées comme étant pluspréoccupantes et prioritaires.

Dans un premier temps, l'EPA élabore des normes technologiques pour contrôler les émissions en provenance de sources liées à un même groupe industriel et sont basées sur des niveaux d'émission qui sont déjà atteints dans les industries les plus performantes[216]. Selon

---

[214] EPA, *Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications* [https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications#mods]. Consulté le 2 mai 2018.

[215] *Clean Air Act,* section 112. EPA, *Initial List of Hazardous Air Pollutants with Modifications* [https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications] Consulté le 28 mai 2018.Il s'agit des composés du nickel (nickel compounds), définis comme toute substance chimique unique qui contient le produit chimique nommé comme partie de l'infrastructure de ce produit chimique (Ibid.) Sont considérés le nickel, l'acétate de nickel, le bromure de nickel, le carbure de nickel, le carbonate de nickel, le nickel carbonyle, le chlorure de nickel, l'hydroxyde de nickel, le nitrate de nickel, le nickelocène, l'oxyde de nickel, la poussière de raffinerie de nickel pyrométallurgique, subsulfure de nickel, le sulfamate de nickel, le sulfate de nickel (nickel acetate nickel, nickel bromide, nickel carbide, nickel carbonate, nickel carbonyl, nickel chloride, nickel hydroxide, nickel nitrate, nickelocene, nickel oxide, nickel refinery dust from the pyrometallurgical, nickel subsulfide, nickel sulfamate, nickel sulfate)..Source : EPA, Hap list and individual constituents [https://dep.wv.gov/daq/small%20business/Documents/HAPs%20and%20Individ%20Constit.pdf].

[216] La loi distingue entre « major sources » et « area sources ». Une source majeure "signifie toute source fixe ou groupe de sources situées dans une zone contiguë et sous contrôle commun qui émet ou a le potentiel d'émettre 10 tonnes par an ou plus de tout polluant atmosphérique dangereux ou 25 tonnes par an ou plus de toute combinaison de polluants. Les normes d'émission sont moins contraignantes dans le cas des « area sources » ; les « major sources » sont soumises aux *MACT*. Angela Hackel, *Section 112 of the Clean Air Act (CAA) Presentation at the Clean Air Act Rulemaking and Permitting Training for EJ Communities,* March 18, 2014[http://www.epaejtraining.org/OAQPS/wp-content/uploads/2013/09/1pm Angela Hackel Overview of Section 112 508.pdf].Voir aussi : EPA, *Reclassification of major sources as area sources under section 112 of the Clean Air Act*, January 1,2018[https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/reclassification_of_major_sources_as_area_sources_under_section_112_of_the_clean_air_act.pdf].

l'article 112 (d), l'EPA doit promulguer des règlements établissant des normes d'émission pour chaque catégorie de sources d'émission ; ces normes d'émission exigent le degré maximal de réduction des émissions polluantes en ayant recours aux meilleures technologies disponibles.

Dans un second temps, et suivant une approche basée sur le risque, appelée risque résiduel, l'EPA doit déterminer si des normes plus protectrices de la santé sont nécessaires. Dans les huit années suivant l'établissement des normes *MACT*, le *Clean Air Act* exige que l'EPA évalue les risques sanitaires restants de chaque catégorie de source afin de déterminer si les normes *MACT* protègent la santé publique avec une marge de sécurité suffisante et protègent contre les effets environnementaux négatifs.

Cette analyse consiste aussi à évaluer si les technologies disponibles au moment de la MACT initiale ont changé pour des méthodes plus efficaces et plus rentables pouvant justifier des normes plus strictes.

Ce sont les États et leurs organisations décentralisées - les «*Districts*» - qui sont responsables de la bonne application des normes *MACT*, afin de réduire les émissions toxiques. Chaque État a la responsabilité première d'assurer la qualité de l'air sur l'ensemble de son territoire et doit établir un plan (*State Implementation Plans* (*SIPs*) qui doit préciser la manière dont les normes seront atteintes et maintenues dans chaque région. Le Gouverneur de chaque État doit soumettre à l'EPA une liste de toutes les régions de son territoire, en y indiquant les régions qui respectent les normes de qualité et celles qui ne les respectent pas. D'une manière générale, une région qui n'est pas conforme à une norme nationale de qualité de l'air a un délai de 5 ans pour s'y conformer, mais ce délai peut être prolongé pour une période maximale de 10 ans[217].

6.2 Les normes californiennes sur le nickel

En plus de voir à la bonne application des critères fédéraux pour les 6 polluants décrits plus haut - *Criteria Pollutants*- la Californie a ajouté 4 autres polluants à sa réglementation, -les *Californian Air Ambient Quality Standards* -CAAQS), mais le nickel ne fait pas partie de cette liste. En même temps, la Californie identifie d'autres polluants atmosphériques comme des contaminants atmosphériques toxiques, ce qui autorise l'établissement de programmes de

[217] 42 U.S. Code § 7502

surveillance et de contrôle. Il convient de mentionner que les dispositions sur les *Air Toxics Hot Spots* viennent encadrer plus sévèrement encore les émissions polluantes des produits toxiques. Depuis 1989[218], les composés du nickel font aussi partie de la liste des produits chimiques connus pour causer le cancer, aux fins de la loi californienne *Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act of 1986 -Proposition 65*. Il est vrai que la plupart de ces substances chimiques n'ont pas de niveaux de sécurité connus (*Reference Exposure Level),* mais le nickel a été visé par le *Air Resources Board* au début des années 2010 pour ses effets non-cancérigènes et on lui a finalement attribué des plafonds ou seuils en fonction de certaines périodes de temps.

6.2.1 Des normes ou critères pour 11 polluants (*Air Ambient Quality Standards -AAQS*), à l'exclusion du nickel

La Californie a des normes de qualité de l'air ambiant (CAAQS) antérieures à la création de l'EPA (1970) et aux normes nationales de qualité de l'air (NAAQS, 1971). En 1959, la Californie a promulgué une loi exigeant que le ministère de la Santé établisse les normes de qualité de l'air et les contrôles nécessaires pour les émissions de véhicules à moteur. C'est le *California Air Resources Board* qui est responsable actuellement de l'adoption et de la modification des règlements en la matière.

La Californie, comme tout autre État américain, a l'obligation d'établir un plan pour rencontrer les normes nationales définies pour les polluants visés. Elle a, de plus, à la suite d'un

[218]Le nickel et certains composés du nickel avaient été ajoutés à la Liste de la Proposition 65 le 1er octobre 1989. Voir: California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment, *Safe drinking water and toxic enforcement Act of 1986 (Proposition 65). Notice to interested parties.* May 7, 2004. [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/050704notelistnick.pdf]. Consulté le 4 mai 2018.

long processus de consultation[219], promulgué des normes pour contrôler d'autres polluants comme le sulfure d'hydrogène, le chlorure de vinyle et les sulfates; les normes visant ces polluants sont désignés comme des *Air Ambient Quality Standards*.

Le tableau suivant présente les polluants actuellement réglementés en Californie et on n'y retrouve pas le nickel :

Polluants réglementés en Californie[220]

AAQS Air Pollutants	
Particulate Matter (PM10 and PM2.5)	**Sulfur Dioxide (SO_2)**
Ozone (O_3)	**Visibility Reducing Particles**
Nitrogen Dioxide (NO_2)	**Lead**
Sulfate	**Hydrogen Sulfide (H_2S)**
Carbon Monoxide (CO)	**Vinyl Chloride**

Si nous voulons avoir un coup d'œil global sur ces polluants de l'air qui font l'objet de normes précises, en Californie, quant à leur concentration maximale dans l'air ambiant, le tableau suivant nous en donne une vue précise, et encore ici, on ne trouve pas le nickel parmi ces polluants :

---

[219] Voir California Air Resources Board, *California Ambient Air Quality Standards (CAAQS)* [https://www.arb.ca.gov/research/aaqs/caaqs/caaqs.htm]. Le processus est décrit de la manière suivante (Traduction). *La normalisation de la qualité de l'air en Californie commence par un examen critique de toute la littérature scientifique par les pairs. L'OEHHA utilise cet examen de la littérature pour proposer une recommandation; celle-ci peut maintenir le statu quo ou proposer une nouvelle norme. L'examen de la littérature et la recommandation sont résumés dans un document intitulé Ébauche de l'énoncé des motifs initiaux (ISOR) qui est publié pour fins de commentaires par le public ainsi que pour examen public par le Comité consultatif sur la qualité de l'air (AQAC). Les membres de l'AQAC sont nommés par le Président de l'Université de Californie en raison d e leurs compétences dans divers domaines couverts par l'ISOR : santé, surveillance de la qualité de l'air, physique et chimie de l'atmosphère, effets sur les plantes, les arbres, les matériaux et les écosystèmes. Le Comité AQAC fournit des commentaires écrits sur le projet ISOR. Le personnel du Air Resources Board révise ensuite l'ISOR sur la base des commentaires de l'AQAC et des commentaires du public. L'ISOR ainsi révisé est ensuite publié pour une période de consultation publique de 45 jours avant que le Air Resources Board ne l'examine au cours d'une réunion ordinaire.*

State and National Ambient Air Quality Standards (California)[221]

---

[220] California Air Resources Board, *California Ambient Air Quality Standards* (CAAQS) [https://www.arb.ca.gov/research/aaqs/caaqs/caaqs.htm].

[221] California Air Resources Board, *Air Quality Standards and Area Designations* [https://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf]. Consulté le 4 mai 2018.

Ambient Air Quality Standards

Pollutant	Averaging Time	California Standards [1]		National Standards [2]		
		Concentration [3]	Method [4]	Primary [3,5]	Secondary [3,6]	Method [7]
Ozone (O_3)[8]	1 Hour	0.09 ppm (180 µg/m^3)	Ultraviolet Photometry	—	Same as Primary Standard	Ultraviolet Photometry
	8 Hour	0.070 ppm (137 µg/m^3)		0.070 ppm (137 µg/m^3)		
Respirable Particulate Matter (PM10)[9]	24 Hour	50 µg/m^3	Gravimetric or Beta Attenuation	150 µg/m^3	Same as Primary Standard	Inertial Separation and Gravimetric Analysis
	Annual Arithmetic Mean	20 µg/m^3		—		
Fine Particulate Matter (PM2.5)[9]	24 Hour	—	—	35 µg/m^3	Same as Primary Standard	Inertial Separation and Gravimetric Analysis
	Annual Arithmetic Mean	12 µg/m^3	Gravimetric or Beta Attenuation	12.0 µg/m^3	15 µg/m^3	
Carbon Monoxide (CO)	1 Hour	20 ppm (23 mg/m^3)	Non-Dispersive Infrared Photometry (NDIR)	35 ppm (40 mg/m^3)	—	Non-Dispersive Infrared Photometry (NDIR)
	8 Hour	9.0 ppm (10 mg/m^3)		9 ppm (10 mg/m^3)	—	
	8 Hour (Lake Tahoe)	6 ppm (7 mg/m^3)		—	—	
Nitrogen Dioxide (NO_2)[10]	1 Hour	0.18 ppm (339 µg/m^3)	Gas Phase Chemiluminescence	100 ppb (188 µg/m^3)	—	Gas Phase Chemiluminescence
	Annual Arithmetic Mean	0.030 ppm (57 µg/m^3)		0.053 ppm (100 µg/m^3)	Same as Primary Standard	
Sulfur Dioxide (SO_2)[11]	1 Hour	0.25 ppm (655 µg/m^3)	Ultraviolet Fluorescence	75 ppb (196 µg/m^3)	—	Ultraviolet Flourescence; Spectrophotometry (Pararosaniline Method)
	3 Hour	—		—	0.5 ppm (1300 µg/m^3)	
	24 Hour	0.04 ppm (105 µg/m^3)		0.14 ppm (for certain areas)[11]	—	
	Annual Arithmetic Mean	—		0.030 ppm (for certain areas)[11]	—	
Lead[12,13]	30 Day Average	1.5 µg/m^3	Atomic Absorption	—	—	High Volume Sampler and Atomic Absorption
	Calendar Quarter	—		1.5 µg/m^3 (for certain areas)[12]	Same as Primary Standard	
	Rolling 3-Month Average	—		0.15 µg/m^3		
Visibility Reducing Particles[14]	8 Hour	See footnote 14	Beta Attenuation and Transmittance through Filter Tape	No National Standards		
Sulfates	24 Hour	25 µg/m^3	Ion Chromatography			
Hydrogen Sulfide	1 Hour	0.03 ppm (42 µg/m^3)	Ultraviolet Fluorescence			
Vinyl Chloride[12]	24 Hour	0.01 ppm (26 µg/m^3)	Gas Chromatography			

See footnotes on next page ...

California Air Resources Board (5/4/16)
Source:[https://www.arb.ca.gov/desig/desig.htm] [https://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf]. Notes explicatives du tableau omises

On doit préciser que contrairement à la loi fédérale américaine, la loi californienne n'exige pas que les normes de qualité de l'air strictement californiennes (CAAQS) soient

respectées à des dates précises, comme c'est le cas avec les normes fédérales (NAAQS). Elle exige plutôt la réalisation de progrès réels vers l'atteinte de ces objectifs.

Par application de la loi fédérale, la loi californienne exige qu'une évaluation de la qualité de l'air soit faite chaque année dans chaque région de l'État, afin de déterminer si une région particulière rencontre ou non les normes établies, et ce, sur une base polluant par polluant. On apprend, par exemple, que pour les PM_{10} et pour 2015, il existe très peu de régions en Californie qui respectent le standard national[222] (20 ug/m^3 -moyenne arithmétique annuelle). On peut obtenir une vision globale des régions qui ont atteint leurs objectifs et celles qui ne les ont pas atteint et ce, pour les 6 polluants que sont l'ozone, les PM10, les PM 2,5, le plomb, l'oxyde d'azote et le gaz carbonique[223].

Le contrôle global des limites d'émission s'effectue par le moyen des permis d'opération.

6.2.2 Le nickel comme contaminant atmosphérique toxique : l'obligation de réduire les émission polluantes

Selon l'article 39655 du *California Health and Safety Code*, un contaminant atmosphérique toxique est un polluant atmosphérique qui peut causer ou contribuer à une augmentation de la mortalité ou à une augmentation de maladies graves, ou qui peut poser un danger actuel ou potentiel pour la santé humaine. La Californie reconnaît actuellement 729 substances comme des contaminants toxiques (*Toxic Air contaminants- TACs*), dont le nickel[224]. Les contaminants atmosphériques toxiques (TAC) sont appelés contaminants atmosphériques «sans critère», parce que, sauf exception, les normes de qualité de l'air ambiant n'ont pas été établies pour eux. La Californie réglemente les *TACs* dans le cadre du Programme sur les

---

[222] California Air Resources Board, Area Designations Maps / State and National, Area Designations for State Ambient Air Quality Standards. PM_{10} [https://www.arb.ca.gov/desig/adm/2015/state_pm10.pdf]. Consulté le 1er mai 2018.

[223] California Air Resources Board, *California State Implementation Plans*, January 18, 2018[https://www.arb.ca.gov/planning/sip/sip.htm]. Consulté le 4 mai 2018.

[224] Substances Identified As Toxic Air Contaminants. 17 CA ADC § 93000BARCLAYS OFFICIAL CALIFORNIA CODE OF REGULATIONS.[https://govt.westlaw.com/calregs/Document/I289F6230D60811DE88AEDDE29ED1DC0A?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=(sc.Default)]. Toxic Air Contaminant (TAC) Identification and Control Act, California Health & Safety Code (CH & SC) 39650 to 39675.

contaminants toxiques atmosphériques[225] et de la Loi sur l'information et l'évaluation des «points chauds» (*Air Toxics "Hot Spots" Information and Assessment Act, 1987).*

Lorsqu'il existe des normes fédérales pour une substance spécifique, le *Air Resources Board* doit, au minimum, faire appliquer les normes établies par l'Agence fédérale américaine (EPA). S'il a été établi un seuil en deçà duquel il n'y aurait pas d'effets négatifs importants sur la santé, le *Air Resources Board* doit créer une mesure de contrôle (*Air Toxic Control Measures - ATCM*). S'il n'existe pas de seuil, le *Air Resource Board* doit créer une *ATCM* qui réduit les émissions de *TAC* en utilisant les meilleures technologies de contrôle disponibles.

Des mesures de contrôle technologiques ont été adoptées pour plusieurs catégories de source de pollution, mais à notre connaissance, il ne semble pas que le nickel soit l'objet de telles mesures[226]. La loi californienne définit les mesures de contrôle *(Air Toxic Control measure ATCM)* comme des méthodes recommandées et, le cas échéant, toute une gamme de méthodes permettant de réduire, d'éviter ou d'éliminer les émissions d'un contaminant atmosphérique toxique. Les mesures antipollution comprennent notamment les limitations d'émissions, les technologies de contrôle, l'utilisation des conditions opérationnelles et d'entretien, les normes d'ingénierie, de conception, d'équipement ou de travail en circuit fermé, ainsi que la réduction, l'évitement ou l'élimination des émissions, les changements de processus, la substitution de matériaux ou d'autres modifications[227].

C'est le *California Air Resources Board* qui est chargé de définir, si nécessaires, les mesures de contrôle (*Airbone Toxic Control Measures* (*ATCMs*)-en lien avec les HAPs fédrales américaines – dont la bonne application est assurée par chacun des 35 *Districts*[228].

Les études scientifiques américaines sur le nickel remontent au moins au début des années 1980[229]. Dans une étude publiée en 1991[230], le *Air Resources Board* et le *Department of*

---

[225] Health & Safety Code C §§ 39660 et suivants.

[226] Chaque mesure est codifiée sous les titres 13 et 17 du *California Code of Regulations.*Voir: California Air Resources Board, Airborne Toxic Control Measures (ATCMs). http://www.arb.ca.gov/toxics/atcm/atcm.htm. Consulté le 2 mai 2018.

[227] Art.9655 HEALTH AND SAFETY CODE

[228] Pour la liste de ces Districts, voir : California Air Resources Board, California Local Air District Directory, May 17, 2018 [https://www.arb.ca.gov/capcoa/roster.htm].

[229] United States Environment Protection Agency, *Health Assessment. Document for nickel and nickel compounds*, EPA /600/8-83/012 FF. *September 1986.Final Report* [https://nepis.epa.gov/Exe/tiff2png.cgi/30001ACC.PNG?-r+75+-

Health Services de la Californie ont examiné la littérature et, à travers elle, les preuves scientifiques disponibles sur la présence du nickel dans l'atmosphère et ses effets négatifs sur la santé humaine. En se basant sur les résultats de la cancérogénicité et sur ceux de l'évaluation des risques, ces deux organismes ont recommandé que le nickel et ses composés soient identifiés comme des contaminants atmosphériques toxiques (*Toxic Air Contaminants –TAC.)*

L'OEHHA a en effet ajouté le nickel et les composés du nickel – comme ce fut le cas avec les *HAP*s fédérales - à la liste des contaminants atmosphériques toxiques qui peuvent causer des maladies chez les nourrissons et les enfants, conformément au *Children's Environmental Health Protection Act*[231]. Le classement du nickel dans la catégorie des polluants atmosphériques toxiques autorise les autorités gouvernementales, le *Air Resources Board* en l'espèce, à adopter des mesures de contrôle à son endroit[232]. Des seuils ayant été fixés pour le nickel[233], la mesure de contrôle doit être conçue de manière à réduire suffisamment les émissions en dessous du seuil fixé[234].

---

g+7+D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C81THRU85%5CTIFF%5C00000384%5C30001ACC.TIF].

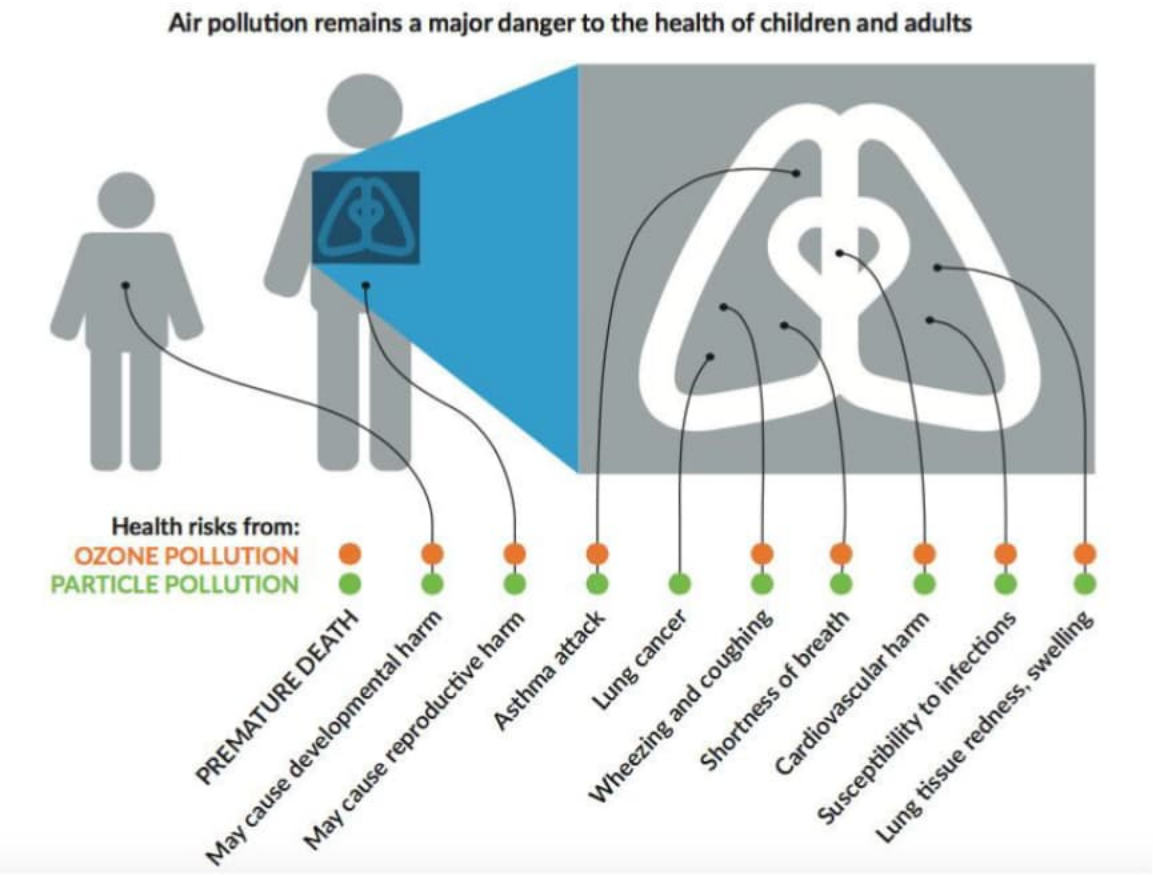
[230] *Initial statement of reasons. Proposed identification of nickel as a toxic air contaminant staff report/Executive summary prepared by the Staffs of The Air Resources Board and The Department of Health Services*, June 1991, p.7-8. [https://www.arb.ca.gov/toxics/id/summary/nickel.pdf].

[231] Senate Bill 25, Escutia, chapter 731, statutes of 1999; Health and Safety Code Sections 39669.5 et seq.)

[232] Art 39666.

[233] Voir plus bas, section 2.5

[234] Health and Safety Code, art.39669



Source : Dr. Mario Picazo Meteorologist, PhD.,"California claims eight of Top 10 worst polluted U.S. cities", The Weather Network, April 19, 2018 [https://www.theweathernetwork.com/us/news/articles/california-leads-list-of-top-us-polluted-cities-american-lung-association-state-of-the-air-report-unhealthy-ozone-pollution-warmer-temperatures-health-effects-united-states/99772].Consulté le 26-5-2018.

Sur ce dernier point, il est important de noter que le *Children's Environmental Health Protection Act*[235] de 1999 oblige l'État, dans l'élaboration de ses normes environnementales, à tenir compte de sous-populations comme les nourrissons et les enfants en général, les enfants asthmatiques, ceux atteints de la fibrose kystique, d'affections ou de maladies respiratoires, pour la bonne raison qu'ils sont plus sensibles que les adultes aux effets nocifs des produits chimiques. Des programmes spéciaux ont été établis pour mettre en œuvre cette intention du législateur. La Californie compte six (6) Centres de recherche sur la santé environnementale des enfants; ces Centres de recherche évaluent les impacts des contaminants environnementaux sur les enfants[236].

[235] Escutia, Chapter 731, Statutes of 1999). *Health and Safety Code,* art. 39669.5.
[236] Office of Environmental Health Hazard Assessment / California Environmental Protection Agency, *Report to the Legislature. Children's Environmental Health Program,* February 2014.

6.2.3 Normes spéciales pour les *Hot Spots* toxiques : analyse de risques, information du public, réduction des émissions polluantes

La loi californienne[237] définit les *Hot Spots* ou points chauds comme des endroits localisés où l'on trouve des concentrations atmosphérique de contaminants toxiques provenant de sources spécifiques et qui exposent les individus et les groupes de population à des risques élevés d'effets nocifs sur la santé, y compris le cancer.

Le programme *Hot Spots* vient compléter les programmes d'identification et de contrôle des substances toxiques atmosphériques que nous avons analysées dans la sous-section 6.2.2. Promulguée en septembre 1987, la loi californienne[238] (*Air Toxics "Hot Spots" Information and Assessment Act, 1987*) oblige les grandes entreprises à rapporter les types et les quantités de certaines substances - les émissions atmosphériques toxiques - que leurs installations rejettent régulièrement dans l'air. Les émissions d'intérêt sont celles qui résultent de l'exploitation courante d'une installation ou qui sont prévisibles, y compris, mais sans s'y limiter, les rejets continus et intermittents.

Les objectifs de la loi sont de recueillir des données sur les installations ayant des impacts localisés, pour déterminer les risques pour la santé. En septembre 1992, la loi "Hot Spots" a été modifiée par le projet de loi du Sénat (Bill (SB) 1731 Calderon) pour exiger la réduction des risques importants. La loi exige que les propriétaires d'installations à risque élevé[239] réduisent leurs émissions en deçà du niveau significatif. Elle exige notamment que les émissions atmosphériques toxiques provenant de sources fixes (installations) soient quantifiées et

---

[237] Health and Safety Code, section 44 301 (d): *localized concentrations or air toxics "hot spots" where emissions from specific sources may expose individuals and population groups to elevated risks of adverse health effects, including, but not limited to, cancer and contribute to the cumulative health risks of emissions from other sources in the area. In some cases where large populations may not be significantly affected by adverse health risks, individuals may be exposed to significant risks.*

[238] Air Toxics "Hot Spots" Information and Assessment Act, 1987 (AB2588, Assembly Bill 2588; Chapter 1252, Statutes of 1987; California H&SC Section 44300 et seq., as amended). Voir California Air Resources Board, *Overview of the Air Toxics "Hot Spots" Information and Assessment Act* [https://www.arb.ca.gov/ab2588/overview.htm].Consulté le 3 mai 2018.

[239] Il s'agit d'entreprises qui émettent 25 tonnes et plus de certains polluants comme les PM, les oxydes de soufre et les composés organiques volatils, d'entreprises qui émettent entre 10 et 25 tonnes d'autres polluants et celles qui émettent moins de 10 tonnes de certains polluants définis. Eastern Kern Air Pollution Control District (*Draft 2016 annual ab2588 air toxics report*, August 2, 2017 http://www.kernair.org/Documents/Reports/2016%20AB2588%20Rpt%208-2-17%20(Draft).pdf . Consulté le 3 mai 2018.

compilées dans un inventaire selon les critères et les lignes directrices élaborés par le *Air Resources Board*, que chaque établissement soit priorisé pour déterminer si une évaluation des risques doit être menée, que les évaluations des risques soient réalisées selon des méthodes développées par *Office of Environmental Health Hazard Assessment* (OEHHA), que le public soit notifié des risques importants posés par les installations voisines[240] et qu'un plan[241] de réduction des risques soit établi et soumis aux instances décisionnelles du *District* qui doit l'approuver.

Une autre exigence de la loi de 1987 est d'obliger les *Districts* à publier des rapports d'étape annuels sur la réalisation du programme de réduction des risques[242]. Le rapport annuel doit notamment identifier et classer les établissements en fonction du risque de cancer et en fonction des risques pour le développement de maladies chroniques et aiguës; le cas échéant, il doit faire état des progrès dans l'application des mesures de contrôle.

Il existe actuellement 35 districts en Californie qui sont responsables de la promulgation des règles et règlements pour les sources fixes d'émission de polluants aériens.

Le nickel est visé par le Programme *Hot Spots*[243] et les valeurs utilisées pour l'étude de risque sont évidemment les mêmes que celle décrites plus haut pour les *RELs* :

---

[240] Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual, Appendix B: Regulations and Legislation. Air Toxics Hot Spots Program Overview. February 2015. [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/2015gmappendicesaf.pdf]. Consulté le 17 mai 2018.

[241] H&S Code § 44391 [Traduction] (a) Lorsqu'une évaluation des risques pour la santé approuvée en vertu du chapitre 4 (commençant par l'article 44360) indique, selon le district, qu'il existe un risque important associé aux émissions d'une installation, l'exploitant de l'installation doit effectuer une vérification de réduction des risques toxiques, élaborer un plan visant à mettre en œuvre des mesures de réduction des risques liés aux substances toxiques dans l'air qui entraîneront une réduction des émissions de l'installation à un niveau inférieur au niveau de risque significatif dans les cinq années suivant la présentation du plan au district. L'exploitant de l'installation doit mettre en œuvre les mesures énoncées dans le plan conformément au présent chapitre. "Texte original: "Whenever a health risk assessment approved pursuant to Chapter 4 (commencing with Section 44360) indicates, in the judgment of the district, that there is a significant risk associated with the emissions from a facility, the facility operator shall conduct an airborne toxic risk reduction audit and develop a plan to implement airborne toxic risk reduction measures that will result in the reduction of emissions from the facility to a level below the significant risk level within five years of the date the plan is submitted to the district. The facility operator shall implement measures set forth in the plan in accordance with this chapter."

[242] Voir par exemple: Sacramento Metropolitan, Air Quality Management, District Sacramento Metropolitan air quality management, *District 2016 report on the air toxics "hot spots" information & assessment act*, January 2018. [http://www.airquality.org/StationarySources/Documents/FINAL%202016%20AB2588%20Annual%20Report.pd]. Consulté le 3 mai 2018.

[243] OEHHA, [https://oehha.ca.gov/air/air-toxics-hot-spots]

OEHHA Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Level (REL) Summary

Extrait seulement

Substance		REL/Inhalation REL	/Hazard Index	Target organs/Species	
Nickel & nickel compounds (except nickel oxide for chronic inhalation exposures) (Inhalation concentrations as µg Ni/m3: oral dose as µg Ni/kg-day)	**A**	0.2[5]		Immune system	M
	8	0.06[5]		Respiratory, immune systems	R
	C	0.014[5]	11[5]	*Inhalation:* Respiratory system; hematologic system *Oral:* Development	R
Nickel oxide (1313-99-1) (Inhalation concentration as µg Ni/m3: oral dose as µg Ni/kg-day)	**C**	0.02[5]	11[5]	*Inhalation:* Respiratory system *Oral:* Development	M R

Footnotes:

[1]REL types: A = acute, 8 = 8-hour, C = chronic. Exposure averaging time for acute RELs is 1 hour. For 8-hour RELs, the exposure averaging time is 8 hours, which may be repeated. Chronic RELs are designed to address continuous exposures for up to a lifetime: the exposure metric used is the annual average exposure.

[2]Species used in key study for REL development: D = dog; Gb = gerbil; GP = guinea pig: H = human; Ha = hamster; M = mouse; Mk = monkey; R = rat; Rb = rabbit

[3]These peer-reviewed chronic REL values were developed under the Toxic Air Contaminant (TAC) Program mandated by AB1807.

[4]REL based on benchmark dose (BMC) approach.

[5]REL developed using the revised methodology (OEHHA, 2008)].

Source: OEHHA, Air Toxics Hot Spots, Guideline Values for Health Risk Assessment, Acute, 8-hour, .and Chronic Reference Exposure Level (RELs) [https://oehha.ca.gov/air/air-toxics-hot-spots]

6.2.4 Le nickel comme substance cancérigène : une obligation d'avertissement

Selon la *Proposition 65* (*Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act of 1986),* l'OEHHA doit publier une liste de produits chimiques qui sont reconnus par l'État de Californie pour causer le cancer, des malformations congénitales ou des problèmes de reproduction.

Comme son titre l'indique, la loi veut évidemment interdire aux entreprises de déverser sciemment des substances répertoriées dans des sources d'eau potable ou sur des terres où les substances peuvent passer dans les sources d'eau potable. Mais d'une manière plus large, elle contraint les entreprises qui produisent, utilisent, libèrent ou s'engagent dans des activités

impliquant des produits chimiques inscrits à cette liste à avertir toute personne du danger découlant d'une exposition à cette substance. Son but est d'interdire aux entreprises d'exposer sciemment des individus à ces substances dangereuses sans fournir un avertissement clair et raisonnable. L'avis (étiquette ou toute autre forme[244]) doit indiquer clairement que le produit chimique impliqué est connu pour provoquer le cancer ou des malformations congénitales ou d'autres problèmes de reproduction; il doit aussi être donné de telle sorte qu'il atteindra effectivement la personne avant qu'elle ne soit exposée à ce produit chimique[245]. Les entreprises sont toutefois exemptées de l'obligation d'avertissement si le risque qu'elles provoquent est si faible qu'il ne crée pas de risque significatif de cancer ou est nettement inférieur aux niveaux observés pour provoquer des malformations congénitales ou d'autres problèmes de reproduction. La loi est sanctionnée par des poursuites judiciaires, publiques ou privées.

Tel que le fait voir le tableau ci-dessous, le nickel et ses composés sont énumérés dans cette liste[246].

State of California Environmental Protection Agency. Office of Environmental Health Hazard Assessment. Safe drinking water and toxic enforcement Act of 1986. Chemicals known to the State to cause cancer. December 29, 2017

Chemical	Type of toxity	CAS No.	Date Listed
Nickel (Metallic)	Cancer	7440-02-0	October 1, 1989
Nickel acetate	Cancer	373-02-4	October 1, 1989

[244] Sur les diverses modalités de l'avertissement, voir : Environmental Law Foundation *v.* Wykle Research, Inc., 35 Cal. Rptr. 3d 788 (Cal. Ct. App. 2005).

[245] Un produit contenant des éléments cancérigènes- tel un écouteur porté à l'oreille ou une épingle de sûreté si elle est plaquée en nickel- doit contenir un avis du genre suivant : *This product contains chemicals known to the State of California to cause cancer and birth defects or other reproductive harm.*

[246] On trouve cette liste à [https://oehha.ca.gov/media/downloads/proposition-65/p65122917_0.pdf]. Consulté le 21 mai 2018. La décision d'inclure le nickel sur cette liste remonte 1989; elle fut mise à jour en mai 2004 pour y inclure les composés du nickel. : OEHHA, *Chemical listed effective May 7, 2004 as known to the State of California to cause cancer: nickel compounds* [https://oehha.ca.gov/proposition-65/crnr/chemical-listed-effective-may-7-2004-known-state-california-cause-cancer-nickel]. Consulté le 27 mai 2018.

Nickel carbonate	Cancer	3333-67-3	October 1, 1989
Nickel carbonyl	Cancer	13463-39-3	October 1, 1987
Nickel carbonyl	Developmental	13463-39-3	September 1, 1996
Nickel compounds	Cancer	---	May 7, 2004
Nickel hydroxide	Cancer	12054-48-7; 12125-56-3	October 1, 1989
Nickelocene	Cancer	1271-28-9	October 1, 1989
Nickel oxide	Cancer	1313-99-1	October 1, 1989
Nickel refinery dust from the pyrometallurgical process	Cancer	---	October 1, 1987
Nickel subsulfide	Cancer	12035-72-2	October 1, 1987

Dans l'évaluation des risques toxicologiques sur la santé humaine, on considère généralement deux types d'effets : cancérigènes et non-cancérigènes. Pour ces derniers, on admet qu'un seuil de toxicité peut être fixé et ce seuil correspond à la dose à laquelle une personne peut être exposée, pendant une durée et à une fréquence déterminées, sans avoir à souffrir d'effets toxiques. Pour les effets cancérigènes, on admet plutôt qu'il n'existe pas de seuil-limite et que toute dose génère des risques probables qui sont d'autant plus importants que la dose est élevée et la durée d'exposition prolongée[247]. L'analyse scientifique réfère à un coefficient de cancérogénicité, lequel *permet d'estimer le nombre de cas de cancer en excès, par rapport au*

[247] Sanexen, Services environnementaux Inc., *Évaluation des risques toxicologiques pour la santé humaine posés par la dispersion des émissions atmosphériques de particules, gaz et métaux*, Projet d'exploitation minière Dumont (Launay Québec). Mai 2014, p.16 [http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/gisement_nickel_dumont/documents/DA17.pdf]. Par exemple : *un excès de 2,6 cas de cancer serait observé si 10 000 personnes étaient exposées à une concentration moyenne journalière de 1 µg/m3 de nickel dans l'air ambiant durant toute leur vie (70 ans) (OEHHA, 2012).* Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale Nationale, *Contamination environnementale dans le quartier Limoilou. Le nickel. Avis complémentaire de santé publique.* Québec, Septembre 2015, page 20. [https://www.ciusss-capitalenationale.gouv.qc.ca/sites/default/files/aspc_nickel_2015-09-29vf.pdf].

taux de base dans la population, attribuable à l'exposition étudiée[248]. La durée de l'exposition court sur la vie entière d'un individu, fixée à 70 ans[249]. Selon l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), « un niveau de risque de 1 sur 1 million implique la probabilité qu'une personne, sur un million de personnes exposées à la même concentration du même polluant, contracterait un cancer si elle était exposée continuellement (ex : 24 heures par jour) à cette concentration spécifique sur une durée de vie supposée », soit 70 ans[250].)

La prudence exige donc que les individus s'abstiennent de toute exposition prolongée à ces substances, s'ils sont bien informés des risques liés à une telle exposition.

Par ailleurs, les autorités gouvernementales peuvent estimer que le risque est si faible en deçà de certains seuils qu'elles peuvent toujours fixer des seuils à ne pas dépasser. L'OEHHA a ainsi établi des *Safe Harbor Levels* pour 308 produits chimiques et aucun avis de mise en garde n'est requis si les produits chimiques présents dans ces produits sont conformes à ces niveaux. Ces niveaux ou seuils, selon la loi, sont fixés sur la base qu'il n'y a pas de risque significatif quand il n'y a pas plus d'un excès de cancer dans une population exposée de 100 000 habitants[251]

Pour le nickel, deux substances ont été ajoutées en termes de *Safe Harbor Levels*. L'OEHHA estime[252] que pour la poussière de nickel, il n'y a pas de risque significatif en dessous de 0,8 ug par jour (800ng) ; pour le subsulfure de nickel, le plafond est de 0,4ug (400ng). Ces niveaux de sécurité n'excluent pas l'utilisation de niveaux alternatifs si leur validité scientifique peut être démontrée.

Office of Environmental Health Hazard Assessment Proposition 65

---

[248] Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale Nationale, *Contamination environnementale dans le quartier Limoilou. Le nickel. Avis complémentaire de santé publique.* Québec, Septembre 2015, pages 9 et 20. [https://www.ciusss-capitalenationale.gouv.qc.ca/sites/default/files/aspc nickel 2015-09-29vf.pdf].

[249] "For purposes of the Act, "lifetime exposure" means the reasonably anticipated rate of exposure for an individual to a given medium of exposure measured over a lifetime of seventy years"(§ 25721. Level of Exposure to Chemicals Causing Cancer. (27 CA ADC § 25721Barclays official California Code of Regulations, 27 CCR § 25721).

[250] USEPA, *National Air Toxics Assessment, NATA frequent questions* [https://www.epa.gov/national-air-toxics-assessment/nata-frequent-questions#background6].

[251] "Where a state or federal agency has developed a regulatory level for a chemical known to the state to cause cancer which is calculated to result in not more than one excess case of cancer in an exposed population of 100,000, such level shall constitute the no significant risk level".(27 CCR § 25711. § 25711. Levels Based on State or Federal Standards).

[252] Par application du Titre 27 du *California Code of Regulations*, article 25705.

No Significant Risk Levels (NSRLs) for Carcinogens and Maximum Allowable Dose Levels (MADLs) for Chemicals Causing Reproductive Toxicity

	NoSignificant Risk Levels (NSRLs) for Carcinogens SRL (µg/day)
Nickel refinery dust from the pyrometallurgical process	0.8ug/m^3
Nickel subsulfide	0.4 ug/m^3

Source: OEHHA, [https://oehha.ca.gov/media/downloads/proposition-65/general-info/safeharborlist041218.pdf]

Comme l'OEHHA a décidé de classer les composés du nickel et du nickel comme toxiques pour la reproduction, les exigences concernant l'avertissement dans le cadre de la *Proposition 65* s'appliqueront à tous les produits californiens contenant du nickel. Selon la *National Association for Surface Finishing*, l'inscription stigmatisera également tous les produits contenant du nickel pour un éventuel boycott en Californie et ailleurs[253].

On trouvera en Annexe la fiche complète du nickel et de ses composés qui se trouvent sur la liste de la Proposition 65.

6.2.5 La fixation de seuils-limite ou *Reference Exposure Levels* pour les effets non-cancérigènes du nickel

Le *Reference Exposure Level* ou *REL* est un taux de concentration d'un produit chimique dans l'air ambiant en-dessous duquel les effets non cancérigènes du polluant ne sont pas prévus pour la durée d'exposition spécifiée (1 heure, huit heures et chronique, c'est-à-dire durant une

[253] National Association for Surface Finishing, "Health Agency seeks data on nickel and pfos for Proposition 65 Listing", February 29, 2016 [https://www.nasf.org/tag/oehha/]. *If OEHHA decides to list nickel and nickel compounds as a reproductive toxicant, the Proposition 65 labeling and notification requirements will be applicable to all products in California that contain nickel. The listing would also stigmatize nickelcontaining products for potential de-selection in California and elsewhere.*

exposition continue à long terme)[254]. Les *RELs* présentés plus bas sont des niveaux en dessous desquels on n'anticipe pas d'effets néfastes pour la santé humaine, y compris pour des sous-populations plus sensibles et ce, pour la durée d'exposition spécifiée[255].

Aux termes du *Health and Safety Code*, (art. 44360 (b) (2)), l'OEHHA doit élaborer des lignes directrices pour mener des évaluations des risques pour la santé publique ; à cet effet, il a rédigé un Document d'appui technique (*Technical Support Document,* 2008) qui décrit les niveaux d'exposition de référence (*Reference Exposure Levels-REL*) pour trois périodes d'exposition différentes : 1 heure, 8 heures/jour et chronique. L'analyse doit tenir compte des effets différentiels des polluants sur la santé des nourrissons, des enfants et d'autres sous-populations sensibles. C'est sur la base de ces lignes directrices qu'ont été définis des *RELs* pour le nickel et les composés de nickel.

Comme on vient de le souligner, les *RELs* servent essentiellement à guider les analyses de risque[256] qui sont exigées des *Districts* par le *Health and Safety Code* pour les fins de

---

[254] Voir OEHHA, *Notice of Adoption of Revised Reference Exposure Levels forr Nickel and Nickel Compounds*: "A REL is an airborne level of a chemical at or below which non-cancer health effects are not anticipated for specified exposure durations". [https://oehha.ca.gov/air/crnr/notice-adoption-revised-reference-exposure-levels-nickel-and-nickel-compounds]. *Acute REL: The acute reference exposure level reflects a concentration level at or below which no adverse health effects are anticipated in a human population, including sensitive subgroups, exposed to that concentration for one hour on an intermittent basis. 8-hours REL: the eight-hour reference exposure level reflects a concentration level at or below which no adverse health effects are anticipated in a human population, including sensitive subgroups, exposed to that concentration for eight hours as often as daily. This periodic exposure may share characteristics of both acute and chronic exposure. Chronic REL: reference exposure level reflects a concentration level at or below which no adverse health effects are anticipated in a human population, including sensitive subgroups, exposed to that concentration continuously for up to a lifetime; the exposure metric used is annual average exposure. These measures are primarily for risk characterization of routine industrial emissions.* Source: OEHHA, Chemical database Metadata [https://oehha.ca.gov/media/tcdb_metadata.pdf].

[255] Office of Environmental Health Hazard Assessment, *Nickel reference exposure levels nickel and nickel compounds. Nickel oxide. Reference exposure levels (RELs).*February 2012, p.101. [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/032312nirelfinal.pdf].Texte: *In assessing the dose-response relationship for non-cancer toxicological endpoints and developing RELs, the objective is to define concentrations of chemicals at or below which no adverse health effects are anticipated in the general human population, including sensitive subpopulations, over the specified exposure duration (1 hour, eight hours or chronic).*

[256] L'analyse de risque ou le "Health risk assessment" est définie de la manière suivante par l'article 44306 du *Health and Safety Code*: une analyse détaillée préparée conformément à l'article 44361 pour évaluer et prévoir la dispersion des substances dangereuses dans l'environnement et le potentiel d'exposition des populations humaines et pour évaluer et quantifier les risques pour la santé individuels et globaux associés à ces niveaux d'exposition (*a detailed comprehensive analysis prepared pursuant to Section 44361 to evaluate and predict the dispersion of hazardous substances in the environment and the potential for exposure of human populations and to assess and quantify both the individual and populationwide health risks associated with those levels of exposure).*

catégorisation des entreprises dans l'une ou l'autre des trois catégories prévues par la loi : haute priorité, moyenne priorité, basse priorité pour les fins de l'évaluation du risque sanitaire. Le *REL* nickel n'est pas directement opposable à une entreprise qui dépasserait ces niveaux; selon un administrateur de l'OEHHA, le *REL* n'est directement utilisé que dans le cadre de l'évaluation des risques pour la santé de l'*Air Toxic Hot Spots*; tout au plus peut-il conduire à des exigences obligatoires de notification / réduction des risques. Les agences californiennes et autres entités étatiques peuvent utiliser les valeurs REL à d'autres fins, mais elles ne sont pas mandatées pour le faire[257].

A) Historique des RELs californiens pour le nickel

En juin 2010, l'OEHHA[258] a sollicité des commentaires publics sur un nouveau projet qui propose des valeurs de concentration maximales pour le nickel et ses composés, afin de mieux protéger les nourrissons, les enfants et d'autres populations sensibles. Le projet est le suivant :

Acute Toxicity (for a 1-hour exposure)	**1.1 µg Ni/m³**

[257] Courriel de M. John D. Budroe, Ph.D., Chief, Air Toxicology and Risk Assessment, Section Air, Community and Environment Research Branch, OEHHA, California Environmental Protection Agency- 30 mai 2018. [(510) 622-3145; john.budroe@oehha.ca.gov]:

«*You are correct –strictly speaking, the TDI REL is only directly used in conducting Air Toxics Hot Spots facility health risk assessments (HRA). Inclusion of a TDI acute REL exceedance in a facility HRA submitted to a California air district may lead to mandatory risk notification/reduction requirements. California air districts and other state entities can use the TDI REL values for other purposes, but they are not mandated to do so)*».

La question soumise était la suivante: «With regard to RELs in California, (ex:Toluene Diisocyanate: Acute REL (for a 1-hour exposure): 2 µg/m3,could you tell me if a corporation could be held responsible if its emissions of a pollutant into the air exceeds the guideline (ex:2ug/m3 for 1-hour). It's my understanding that the guideline is used exclusively to conduct health risk assessment, but maybe I am wrong».

[258] *Notice of Public Comment on Proposed Revised Reference Exposure Levels for Nickel and Nickel Compounds*, June 4, 2010 [https://oehha.ca.gov/air/crnr/notice-public-comment-proposed-revised-reference-exposure-levels-nickel-and-nickel].

8-Hour REL (for repeated 8-hour exposures)	**0.08 µg Ni/m³**
Chronic REL Nickel and Nickel Compounds (except NiO)	**0.015µg Ni/m³**
Chronic REL Nickel Oxide Inhalation reference exposure level	**0.06 µg Ni/m³**

Cet examen Pascal est un examen variable. Une version révisée du document reflétant les commentaires d'un comité scientifique de la Californie (*State's Scientific Review Panel on Toxic Air Contaminants*) a été discutée lors d'une deuxième réunion tenue le 31 octobre 2011. Lors de cette dernière réunion, un comité scientifique a approuvé le document décrivant les *RELs*.. En 2011[259] et à la suite d'un très long processus de consultation[260], l'*Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA)* propose les valeurs définitives pour le nickel (ug/m³).

En mars 2012, l'OEHHA a donné suite à cette étude en adoptant les valeurs suivantes qui sont fondées sur une étude scientifique de 194 pages[261].

Acute, 8-hour, and Chronic Reference Exposure Levels for Nickel and Nickel Compounds[262].

1

Acute Toxicity (for a 1-hour exposure)

Inhalation reference exposure level 0.2 µg Ni/m³

Critical effect(s) Immune system

[259] Office of Environmental Health Hazard Assessment, *Nickel reference exposure levels nickel and nickel compounds. Nickel oxide. Reference exposure levels (RELs).* February 2012. [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/032312nirelfinal.pdf]

[260] Voir: OEHHA, "Notice of Adoption of Revised Reference Exposure Levels for Nickel and Nickel Compounds",[https://oehha.ca.gov/air/crnr/notice-adoption-revised-reference-exposure-levels-nickel-and-nickel-compounds]. Consulté le 3 mai 2018. [Traduction]: *Une ébauche des REL de nickel a été publiée le 4 juin 2010 pour solliciter les commentaires du public et a été discutée lors d'ateliers tenus à Oakland et Diamond Bar en juillet 2010. Le document a ensuite été révisé pour refléter les commentaires du public et soumis à un examen par les pairs du Comité d'examen scientifique de l'État sur les contaminants atmosphériques toxiques (PRS).Une version révisée du document reflétant les commentaires du PRS a été discutée lors d'une deuxième réunion tenue le 31octobre 2011. Lors de cette dernière réunion, le PRS a approuvé le document décrivant les REL* (…).

[261] Office of Environmental Health Hazard Assessment, *Nickel reference exposure levels nickel and nickel compounds. Nickel oxide. Reference exposure levels (RELs).* February 2012. [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/032312nirelfinal.pdf]

[262] Source : Office of Environmental Health Hazard Assessment, (OEHHA), *Nickel and nickel compounds. Nickel oxide. Reference exposure levels (RELs).* February 2012, p.7-8 [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/032312nirelfinal.pdf]

Hazard Index target(s)	Immune system

2

8-Hour REL (for repeated 8-hour exposures)

Inhalation reference exposure level 0.06 µg Ni/m3

Critical effect(s)	Lung lesions, immunotoxicity
Hazard Index target(s)	Respiratory system; immune system

3

Chronic REL Nickel and Nickel Compounds (except NiO)

Inhalation reference exposure level 0.014 µg Ni/m3

Critical effect(s)	Lung, nasal epithelial and lymphatic pathology in male and female rats
Hazard index target(s)	Respiratory system; hematopoietic

4

Chronic REL Nickel Oxide

Inhalation reference exposure level 0.02 µg Ni/m3

Critical effect(s)	Lung pathology in male and female mice
Hazard index target(s)	Respiratory system

5

Chronic Oral REL Nickel and Nickel Compounds

Oral Reference exposure level 0.011 mg Ni/kg-day

Critical effect(s)	Perinatal mortality in rats
Hazard index targets(s)	Developmental system

On constate que pour la période de 8 heures, le processus de consultation a résulté en un resserrement de la norme qui passe de 0,08ug à 0,06ug ; pour la moyenne annuelle, il y a aussi un léger resserrement de la norme qui passe de 0,015 ug à 0,014ug.

La fiche complète pour le nickel se lit actuellement de la manière suivante. Comme on pourra le constater, elle déborde largement la simple détermination des *RELs* et anticipe sur des développements à venir.

Air

Acute REL (µg/m^3):	0.2
Species:	Mouse
Acute REL Toxicologic Endpoint:	Depressed antibody response
Acute REL Target Organs:	Immune system
Last Acute REL Revision:	2012
Acute Reference Exposure Levels Comments:	Inhalation concentrations as micrograms Ni/m^3. OEHHA 2012. Nickel Reference Exposure Levels.

8-Hour RELs

8-Hour Inhalation REL (µg/m3):	0.06
Last 8-Hour REL Revision:	2012
8-Hour Reference Exposure Levels Comments:	Inhalation concentrations as micrograms Ni/m^3. OEHHA 2013. Technical Support Document for Noncancer RELs, Appendix D1. Updated July 2014. Listed as Nickel & nickel compounds.

Chronic REL

Chronic Inhalation REL (µg/m3):	0.014 (inhalation); 11 µg/kg BW-day (oral)
Chronic Target Organs:	Inhalation: Respiratory system, hematologic system. Oral: Development
Human Data:	No
Last Chronic REL Revision:	2012

Chronic Reference Exposure Levels Comments:	Inhalation concentrations as micrograms Ni/m^3; oral dose as micrograms Ni/kg-day. OEHHA 2012. Nickel Reference Exposure Levels. Listed as Nickel & nickel compounds (except nickel oxide for chronic inhalation exposures).

Proposition 65

Chemical Status

Cancer:	Currently listed
Reproductive Toxicity:	Under consideration

Cancer

Listed as causing:	Cancer
Date of Listing:	10/01/1989
Basis for Listing:	LC

Chemical under consideration for listing

Under consideration for listing as causing:	Developmental Toxicity Male Reproductive Toxicity Female Reproductive Toxicity
Under consideration for listing - Listing Mechanism - Developmental:	SQE
Under consideration for listing - Listing Mechanism - Male:	SQE
Under consideration for listing - Listing Mechanism - Female:	SQE

'Nickel acetate', 'Nickel carbonate', 'Nickel carbonyl', 'Nickel compounds', 'Nickel hydroxide', 'Nickelocene', 'Nickel oxide', 'Nickel refinery dust from the pyrometallurgical process', and 'Nickel subsulfide' listed separately.

Source: OEHHA, *Nickel and Nickel Compounds* [https://oehha.ca.gov/chemicals/nickel-and-nickel-compounds]. Consulté le 4 mai 2018.Note: Acute REL= 1 heure d'exposition.

BIBLIOGRAPHIE

Air Resources Board and California Air Pollution Control Officers Association, *Risk Management Guidance for Stationary Sources of Air Toxics,* July 23, 2015 [https://www.arb.ca.gov/toxics/rma/rmgssat.pdf].

Air Resources Board and The Department of Health Services, *Initial statement of reasons. Proposed identification of nickel as a toxic air contaminant. Report/Executive Summary.* June 1991 [https://www.arb.ca.gov/toxics/id/summary /nickel.pdf].

California, The Air Toxics "Hot Spots" Information and Assessment Act of 1987 (AB 2588, 1987, Assembly Bill 2588; Chapter 1252, Statutes of 1987; California Heath &Safety Code Section 44300 et seq., as amended).

California, Health and Safety Code, Division 26, Air Resources, [http://leginfo.legislature.ca.gov/faces/codes_displaySection.xhtml?sectionNum=18938.5.&lawCode=HSC]

California Air resources Board, *CAPCOA BACT Clearinghouse Resource Manual,* V. Stationary Source Regulation in California (avril 2017) [https://www.arb.ca.gov/bact/docs/ssrcalifornia.htm].

California Air Resources Board, *Proposed 2017 Amendments to Areas Designations for State Ambient Air Quality,* December 2017. [https://www.arb.ca.gov/regact/2018/area18/isor.pdf].
California Air Resources Board, *California Ambient Air Quality Standards* (CAAQS) [https://www.arb.ca.gov/research/aaqs/caaqs/caaqs.htm].

California Air Resources Board, *California Air Toxics Program – Background*[https://www.arb.ca.gov/toxics/background.htm].

California Air Resources Board, *Overview of the Air Toxics "Hot Spots" Information and Assessment Act* [https://www.arb.ca.gov/ab2588/overview.htm].

Ellyn Adrienne Hershman, "California Legislation on Air Containment Emissions from Stationary Sources", California Law Review, vol. 58, Issue 6 (November 1970).

Office of Environmental Health Hazard Assessment, *Nickel Reference Exposure Levels Nickel and Nickel compounds. Nickel oxide. Reference exposure levels* (RELs) February 2012, p.12[https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/032312nirelfinal.pdf].

Office of Environmental Health Hazard Assessment, *Development of Health Criteria for School Site Risk Assessment Pursuant to Health and Safety Code Section 901(g): Child-Specific*

Reference Doses (chRDs) for School Site Risk Assessment Cadmium, Chlordane, Heptachlor, Heptachlor Epoxide, Methoxychlor, and Nickel. December 2005 [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/finalschoolreport121205.pdf].

OEHHA, *Notice of Public Comment on Proposed Revised Reference Exposure Levels for Nickel and Nickel Compounds,* June 4, 2010 [https://oehha.ca.gov/air/crnr/notice-public-comment-proposed-revised-reference-exposure-levels-nickel-and-nickel].

OEHHA, *Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual for the Preparation of Risk Assessments (Guidance Manual),* February 2015. https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/2015guidancemanual.pdf
OEHHA, *Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Levels (chRELs) as of June 2016* (https://oehha.ca.gov/air/general-info/oehha-acute-8-hour-and-chronic-reference-exposure-level-rel-summary).

OEHHA, *Chemicals Selected by OEHHA for Consideration for Listing by the DART Identification Committee and Request for Relevant Information on the Reproductive Toxicity Hazards of: n-Hexane, Nickel and Nickel Compounds, PFOA and PFOS and their salts*.[https://oehha.ca.gov/proposition-65/crnr/chemicals-selected-oehha-consideration-listing-dart-identification-committee-and].

Office of Environmental Health Hazard Assessment, *Risk Assessment Guidelines Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments,* February 2015. [https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/2015guidancemanual.pdf].

Sacramento Metropolitan, Air Quality Management, District Sacramento Metropolitan Air Quality Management, *District 2016 Report on the air toxics "hot spots". Information & Assessment Act*, January 2018.

Sanexen, Services environnementaux Inc., *Évaluation des risques toxicologiques pour la santé humaine posés par la dispersion des émissions atmosphériques de particules, gaz et métaux*, Projet d'exploitation minière Dumont (Launay Québec). Mai 2014.

South Coast Air Quality Management District (AQMD) *Guidance Document for Addressing Air Quality Issues in General Plans and Local Planning A Reference for Local Governments Within the South Coast Air Quality Management District,* May 6, 2005[http://www.aqmd.gov/docs/default-source/planning/air-quality-guidance/complete-guidance-document.pdf].

State of California, Air Resources Board, *Final Statement of Reasons for Rulemaking, Including Summary of Comments and Agency Responses.* Public hearing to consider amendments to the ambient air quality standards for particulate matter and sulfates Considered On: June 20, 2002 Agenda Item No: 02-5-01[https://www.arb.ca.gov/regact/aaqspm/fsor.pdf

United States Environment Protection Agency, *Health Assessment. Document for nickel and nickel compounds*, EPA /600/8-83/012 FF. *September 1986.final report*

[https://nepis.epa.gov/Exe/tiff2png.cgi/30001ACC.PNG?-r+75+-g+7+D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C81THRU85%5CTIFF%5C00000384%5C30001ACC.TIF].

United States Code, Title 42 - The Public Health and Welfare, Chapter 85 – Air pollution prevention and control. (The Clean Air Act, 42 U.S.C. §7401 et seq. [1970]).

United States Environment Protection Agency, *Initial List of Hasardous Air Pollutants with modifications*[https://www.epa.gov/haps/initial-list-hazardous-air-pollutants-modifications#mods].

WBK & Associates Inc., *Assessment report on nickel for developing an ambient air quality objectives for Alberta Environment* November 2004[https://open.alberta.ca/dataset/54f297de-9f61-43f3-877f-62d5ac37e978/resource/ec8dfbcc-121b-4c54-a5a9-d50c4e273796/download/2004-assessmentreport-nickel-nov2004.pdf].

GLOSSAIRE

AB: Authoritative Bodies (US Environmental Protection Agency, US Food and Drug Administration (US FDA), National Institute for Occupational Safety and Health, the National Toxicology Program of the US Department of Health and Human Services, and IARC)

LC: Labor Code

SQE : State's Qualified Experts (Carcinogen Identification Committee (CIC) and the Developmental and Reproductive Toxicant (DART) Identification Committee)

FR : Formally Required to be Labeled

7. L'Australie

7.1 Mise en contexte

En Australie, 96% des ressources en nickel se trouvent en Australie orientale. Le Queensland (Qld) est le deuxième en importance avec 3,8%, suivi de la Tasmanie (Tas) avec 0,2%.[263]

La fédération australienne date du 1er janvier 1901. Elle s'est inspirée de la fédération américaine, mais aussi suisse et canadienne et à cet égard, c'est cette dernière constitution qui l'a le plus inspirée, comme l'explique la professeure Cheryl Saunders[264] :

> «À l'origine, la fédération australienne a pris pour modèle le système fédéral des États-Unis, mais s'est également inspirée du Canada et de la Suisse. L'Australie a, de plus, combiné le fédéralisme avec des institutions gouvernementales et une culture constitutionnelle issues en grande partie de la tradition britannique, modérée par l'égalitarisme et le pragmatisme australiens. Le résultat est un modèle fédéral unique en son genre. Si l'on considère le projet constitutionnel, le modèle le plus proche est le Canada, qui est lui aussi une fédération de *Common Law* avec des institutions inspirées du modèle démocratique britannique. Mais une approche différente dans la division fédérale du pouvoir législatif a entraîné, au Canada, le développement d'une fédération beaucoup plus décentralisée, facteur renforcé par la spécificité de certaines provinces, en particulier du Québec».

La Constitution australienne se rapproche du modèle canadien surtout pour ce qui est de la manière avec laquelle elle énumère les pouvoirs législatifs de façon beaucoup plus détaillée que la Constitution américaine. En considérant le texte de la Constitution, on se rend compte que les

---

[263] The Australian Atlas of Mineral Resources, Mines, and Processing Centres, *Australian Mines Atlas*, cited by Australian Government: [http://www.australianminesatlas.gov.au/index.html], page consultée le 7 juin 2018.
[264] Cheryl Saunders, « Le fédéralisme australien et l'autonomie locale », *Pouvoirs*, vol. 141, no. 2, 2012, pp. 39-50, au paragraphe 3, citant Michael Crommelin, « Federalism », *in* Paul D. Finn (dir.), *Essays on Law and Government*, vol. 1, Sydney, Law Book Co Ltd, 1995, p. 168.

pouvoirs du gouvernement central «sont relativement limités». D'après le texte de la Constitution, les pouvoirs du gouvernement national sont relativement limités.[265]

Tout comme au Canada, la protection de l'environnement n'est pas une competence législative nommément attribuée au palier fédéral ou encore au palier provincial, c'est-à-dire aux six États qui composent le pays.[266] Les compétences constitutionnelles des États leur permettent toutefois de régementer, pour une large part, la protection de l'environnement sur leurs territoires respectifs, ce qui a permis à l'Australie de l'Ouest de réglementer la qualité de l'air ambiant sur son territoire.

7.2 Le cadre général applicable à la réglementation du nickel

En 2009, le *Western Australian Department of Health* (DoH) a établi une ligne directrice annuelle de 3 ng/m3 (0.003ug/m3) pour les particules de nickel dans l'air dans les PM10[267]. Lorsqu'elle a été adoptée par le DoH, ette norme tenait compte des effets nocifs des particules de nickel sur la santé et correspondait à celle recommandée par l'OMS[268]. Il faut donc comprendre qu'il s'agit d'une ligne directrice proposée par le DoH pour minimiser les impacts sur la santé liés à l'émission de la poussière de nickel.

De plus, et cela est très important de le comprendre, cette norme n'a pas un caractère contraignant et n'est pas applicable dans tous les projets. Elle n'a qu'une valeur indicative. Elle

[265] Saunders, *Id.*, para 13.

[266] *Id.*, para 10.

[267] *Health Risk Assessement*, Wingellina Nickel Project, Metals X Limited, SNC Lavallin, p. 46.

[268] *Works Approval Environmental Protection Act 1986, Part V*, Works Approval numbers : W5840/2015/1, Government of Westner Australia, Issue : 31 Décembre 2015, https://www.der.wa.gov.au/component/k2/item/8265-w5840, p.18.

a, par exemple, été utilisée par Hinckley Range Pty Ltd, en 2015, lors de la présentation du projet Wingellina à *l'Environmental Protection Agency* (EPA) de l'Australie de l'Ouest. L'EPA a d'ailleurs par la suite recommandé ce projet au ministre, en attestant de sa conformité à la norme annuelle de $(0.003ug/m^3)$[269]

7.2.1 La «National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure»

La «National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure»[270] est une loi fédérale australienne qui vise à contrôler la qualité de l'air dans l'ensemble de l'Australie. À cet effet, elle impose aux territoires et États certaines normes à respecter quant à l'émission de polluants dans l'air. Les particules PM10 font, en vertu de l'annexe 1, partie des polluants visés par cette loi[271].

La «*National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure*» impose la mise sur pied d'un plan de surveillance de la qualité de l'air, qui doit notamment être soumis pour approbation au *National Environment Protection Council*[272]. Ce plan doit s'accompagner de la mise en place de stations de mesurage, dont le nombre varie en fonction de la population de chaque région[273], suivant une règle mathématique très précise[274].

Cette loi vise donc à mesurer la qualité de l'air de l'air pour l'ensemble du territoire plutôt que pour des sites particuliers. Les opérateurs visées par la loi doivent produire annuellement un rapport d'évaluation portant sur le respect de la norme et les raisons pouvant expliquer son non-respect, le cas échéant.

---

[269] *Report and recommendations of the Environmental Protection Authority,*Wingellina Nickel Project, Hinckley Range Pty Ltd, Report 1568, June 2016, p.15.

[270] *National Environment Protection (Ambiant Air Quality) Measure*, F2016C00215, Australia Governement, début d'application le 3 février 2016, https://www.legislation.gov.au/Details/F2016C00215.

[271] *Op. cit.*, schedule 1.

[272] *Op. cit.*, Art. 10.

[273] *Op. cit.*, Art. 11 et 14.

[274] *Op. cit.*, Art. 14 (1).

Pour les PM10, la norme générale à respecter est de 25µg/m^3 pour 1 an ou 50µg/m^3 par jour[275]. Cependant, cette loi vise surtout les PM 2,5, puisque pour ces particules, l'objectif à atteindre d'ici 2025 est de 20µg/m^3 par jour ou de 7µg/m^3 par année[276]. Ces normes sont cependant davantage des cibles que des valeurs contraignantes, puisque leur respect dépend avant tout de la volonté du gouvernement de la faire respecter, selon les projets et selon les cas de figure. Les méthodes pour faire la surveillance des PM10 ou PM2,5 sont définies à l'annexe 3[277]. Ces «cibles» ne sont pas spécifiques au nickel mais bien aux PM10 et aux PM 2,5.

7.2.3 Le Department of Water and Environmental Regulation (DWER)

Le DWER (*Department of Water and Environmental Regulation*) de l'Australie-Occidentale régit les émissions industrielles et les rejets dans l'environnement en vertu de la section 5 de l'*Environmental Protection Act of 1986*[278]. Cette partie prévoit que la construction de certains lieux industriels susceptibles d'émettre ou de rejeter des polluants dans l'air, désignés comme des «lieux prescrits», est soumise à l'approbation du DWER. Les catégories de lieux prescrits sont prévues à l'annexe 1 du *Environmental Protection Regulations 1987*[279].

L'*Environmental Protection Act of 1986* exige qu'une autorisation de travaux soit obtenue avant la construction d'un lieu prescrit. À défaut de cette autorisation, les sanctions générales prévues dans la loi sont applicables.[280].

[275] *Op. cit.*, schedule 2 , table 1.

[276] *Op. cit.*, schedule 2, table 2.

[277] *Op.cit.*, schedule 3.

[278] *Environmental Protection Act* 1986, Western Australia, version 09-a0-00, actualisé le 4 mai 2018, https://www.legislation.wa.gov.au/legislation/statutes.nsf/main_mrtitle_304_homepage.html.

[279] *Ibid.*

[280] *Environmental Protection Act* 1986, Western Australia, version 09-a0-00, actualisé le 4 mai 2018, https://www.legislation.wa.gov.au/legislation/statutes.nsf/main_mrtitle_304_homepage.html, art. 52.

7.3 Application dans deux cas d'espèce

7.3.1 Le projet du port d'Esperance

En 2015, le DWER a imposé certaines conditions avant l'approbation d'un projet de construction d'installations visant le transbordement de nickel dans le port d'Esperance, en Australie-Occidentale. Ce projet visait le chargement quotidien d'environ 82 000 tonnes de concentré de nickel vers les cales de cargos.[281] Le projet du port d'Esperance illustre comment le processus d'autorisation du DWER fonctionne, ce que nous allons maintenant décrire.

Dans le cas de cette mine, l'autorisation environnementale finale du projet était soumise à 5 essais, encadrés par une approbation de travaux[282]. Si, au terme de ces essais, la norme d'émission n'était pas dépassée, le port pouvait obtenir l'autorisation du DWER[283], ce qui fut le cas. Il faut ajouter que le DWER avait néanmoins imposé au port l'installation d'un équipement de transbordement étanche visant à limiter l'émission dans l'air de poussière de nickel[284]. Ainsi, de l'avis même du DWER, la norme d'émission allait probablement être respectée puisque peu de poussières était susceptible de s'envoler en raison de son humidification et de l'étanchéité des équipements[285].

Le DWER a aussi, dans le cadre de ce projet, imposé la mise en place d'un plan de gestion des particules. Ce plan est basé sur différents résultats de mesurage obtenus pendant la période d'essai[286]. En effet, ces données ont été prises en compte pour établir les normes à respecter. Une fois les données obtenues pendant la période d'essai, ces dernières ont été intégrées à

[281] *Works Approval Environmental Protection Act 1986, Part V,* Works Approval numbers : W5840/2015/1, Government of Westner Australia, Issue : 31 Décembre 2015, https://www.der.wa.gov.au/component/k2/item/8265-w5840, p.1.

[282] *Op. cit.*, p.17.

[283] *Op. cit.*, p. 4.

[284] *Op. cit.*, p.13-14.

[285] *Op. cit.*, p.14.

[286] *Op. cit.*, p.13.

l'autorisation environnementale comme des conditions à respecter pour le maintien de l'autorisation[287].

Le DWER a aussi exigé qu'il y ait du mesurage quotidien lors des périodes de transbordement[288]. L'objectif de cette surveillance est de permettre que des mesures d'humidification ou d'arrêt des procédures soient mises en place lorsque la norme est dépassée pour éviter les effets néfastes sur la santé[289].

Le DWER a établi la valeur moyenne quotidienne à respecter pour le port d'Esperance à 0.014 µg/m^3 [290]. Cette valeur est mesurée quotidiennement en PST[291]. Le DoH avait cependant déjà établi une norme annuelle à 0.003 ug/m^3, comme nous l'avons mentionné précédemment, etn tenant compte du fait que cette norme de 0.003 ug/m^3 prenait en compte les effets nocifs des particules de nickel sur la santé et correspondait à celle recommandée par l'OMS[292]. *Le DWER a cependant choisi de ne pas retenir cette limite puisqu'elle ne correspondait pas tout à fait à la réalité*. En effet, du point de vue du DWER, les propriétés du type nickel transbordé dans le cadre du projet du port d'Esperance sont beaucoup moins nocives pour la santé que celles du subsulfure de nickel, dont la norme de l'OMS tient compte[293]. La valeur de 0.014 µg/m^3 journalière a donc été retenue, avec l'approbation du DoH[294]. Cette limite a été intégrée à l'autorisation environnementale du port d'Esperance qui ne peut pas, en principe la dépasser.[295]

---

[287] *Ibid.*

[288] *Op. cit.*, 14.

[289] *Ibid.*

[290] *Op. cit., p.*18.

[291] http://www.epsl.com.au/downloads/env/Concentrations-of-Nickel-in-TSP-Feb2018.pdf

[292] *Works Approval Environmental Protection Act 1986, Part V,* Works Approval numbers : W5840/2015/1, Government of Westner Australia, Issue : 31 Décembre 2015, https://www.der.wa.gov.au/component/k2/item/8265-w5840, p.18.

[293] *Op. cit.*, p.13.

[294] *Op. cit.*, p.18.

[295] *Op. cit.*, p.14.

S'il la dépasse, des améliorations continues sont demandées par les autorités, mais il ne semble pas que les sanctions soient la première option envisagée.

Un rapport produit par les autorités portuaires couvrant la période allant du 1er octobre 2015 au 30 septembre 2016[296] permet de constater que cette norme quotidienne de 0.14 µg/m^3 pour le nickel a été largement respectée par le port[297]. Toutefois, la compagnie minière qui transporte du nickel vers le port a commencé, en 2017, à mesurer la concentration de nickel dans l'air dans les PM10[298]. Du point de vue des autorités portuaires, les résultats en PM10 sont plus susceptibles de mesurer les impacts réels de la poussière de nickel sur la santé[299].

Il est, à cet égard, important de préciser qu'en vertu de l'autorisation environnementale délivrée au port en 2015, les autorités portuaires avaient déjà l'obligation de mesurer le taux général de particules (en PM10) dans l'air. Toutefois, ce mesurage n'était pas limité au nickel et visait l'ensemble des particules dans l'air, incluant les particules de nickel. Dans ce cas, c'est la norme nationale quotidienne de 50 µg/m^3 prévue dans la «National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure» qui s'applique. Le rapport produit par les autorités portuaires pour 2015-2016 montre que cette norme générale était mesurée sur une période de 24h et que la moyenne des émissions de ces 24h ne devait pas excéder la limite quotidienne prévue de 50 µg/m^3 [300]. La norme a été dépassée à 10 reprises au cours de l'année 2015-2016, surtout en raison du chargement de grains et d'événements extérieurs comme des feux de forêt[301].

Enfin, les autorités portuaires ont installé des jauges à quelques endroits sur le site afin de mesurer les dépôts de poussière *au sol* (et non dans l'air ambiant). Même si cette condition ne

[296] *Annual Ambient Air Quality Monitoring Report*, Southern Ports Authority, Port of Esperance, 1 Ocotbre 2015 to 31 Septembre 2016, http://www.epsl.com.au/downloads/env/PoE-Annual-AQ-Oct-2015-Sept2016.pdf.

[297] *Op. cit.*, p. 26.

[298] *Op. cit.*, p. 26.

[299] Au moment de produire ce rapport, les résultats de cette campagne de mesurage n'étaient pas encore disponibles.

[300] *Annual Ambient Air Quality Monitoring Report*, Southern Ports Authority, Port of Esperance, 1 Ocotbre 2015 to 31 Septembre 2016, http://www.epsl.com.au/downloads/env/PoE-Annual-AQ-Oct-2015-Sept2016.pdf., p 20.

[301] *Ibid.*

figurait pas dans l'autorisation environnementale, les autorités portuaires ont quand même décidé de mesurer ces dépôts[302]. Pour ce faire, elles ont utilisé une norme prévue par l'État de la Nouvelle-Galles du Sud (Australie) et qui est donc non applicable en Australie occidentale, soit une norme de 4000 mg/m2/mois.[303]

Ce calcul visait, entre autres, à mesurer la quantité de poussières de nickel comprise dans le total des dépôts accumulés dans les jauges. Le rapport produit par le port pour 2015-2016 montre que même si la norme a été dépassée à quatre reprises, ces dépassements n'ont pas été causés en raison de la poussière de nickel, puisque cette dernière était présente en quantité relativement faible[304].

7.3.1.1 La surveillance des exigences imposées

Le non respect des conditions prévues dans une autorisation environnementale du type de celle délivrée au Port d'Esperance, tout comme à la mine Wingellina (voir ci-bas), constitue une infraction au sens de l'article 58 l'*Environmental Protection Act of 1986*.[305] De plus, toute

---

[302] *Op. cit.,* p. 36.

[303] *Ibid.*

[304] *Op. cit.,* p. 38.

[305] 58. Contravening licence conditions

(1) A holder of a licence who contravenes a condition to which the licence is subject commits an offence.

(2) If a person contravenes on premises in respect of which a licence is in force a condition to which the licence is subject, the occupier of those premises is himself deemed to have contravened that condition whether or not the person acted contrary to the instructions of that occupier in contravening that condition.

(3) If —

(a) premises are shared by a corporation and a subsidiary or subsidiaries of the corporation; and

(b) the corporation or a subsidiary referred to in paragraph (a) is a licensee in respect of the premises referred to in that paragraph; and

(c) a condition to which the licence of the licensee referred to in paragraph (b) is subject is contravened on the premises referred to in paragraph (a),

the licensee referred to in paragraph (b) is deemed to have caused the contravention referred to in paragraph (c) unless the contrary is proved.

modification non-approuvée aux installations en fonction des lesquelles l'autorisation environnementale a été émise constitue une infraction au sens de l'article 53 de la même loi.[306]

---

(4) In subsection (3) —

corporation has the meaning given by the *Corporations Act 2001* of the Commonwealth;

subsidiary has the meaning given by the *Corporations Act 2001* of the Commonwealth.

[Section 58 amended by No. 10 of 2001 s. 72; No. 54 of 2003 s. 76.]

[306] 53. Prescribed premises, restrictions as to changes to etc.

(1) Subject to this Act, the occupier of any prescribed premises who, if to do so may cause an emission, or alter the nature or volume of the waste, noise, odour or electromagnetic radiation emitted, from the prescribed premises —

(a) alters the method of operation of any trade, or of any process used in any trade, carried on at the prescribed premises; or

(b) constructs, installs or alters any equipment on the prescribed premises for —

(i) the storage, handling, transport or treatment of waste prior to, and for the purpose of, the discharge of waste; or

(ii) the control of noise, odour or electromagnetic radiation prior to, and for the purpose of, the emission or transmission of noise, odour or electromagnetic radiation,

into the environment; or

(c) alters the type of materials or products used or produced in any trade carried on at the prescribed premises; or

(d) alters the type of fuel used in any fuel burning equipment or industrial plant in any trade carried on at the prescribed premises; or

(e) installs, alters or replaces any fuel burning equipment or industrial plant on the prescribed premises or carries out any work on the prescribed premises which is the beginning of, or any subsequent step in, that installation, alteration, replacement or carrying out,

commits an offence unless he does so —

(f) in accordance with —

(i) a works approval; or

(ii) a licence; or

(iii) a requirement contained in a closure notice or an environmental protection notice,

as the case requires; or

(g) only in the course of and for the purpose of general maintenance required to maintain the efficient operation of any pollution control equipment or procedure.

(2) Subject to this Act, the occupier of any prescribed premises who in or on the prescribed premises —

(a) carries out any work which is the beginning of, or any subsequent step in, any work referred to in subsection (1)(a) to (e) if the completion of the alteration, construction, installation or

7.3.1.2 L'Environmental Protection Authority (EPA)

L'EPA (Environmental Protection Authority) est un organisme indépendant créé en vertu de l'*Environmental Protection Act of 1986*[307]. Il a notamment pour mission de mener des études d'impact sur l'environnement, de préparer des politiques pour la protection de l'environnement, préparer et publier des lignes directrices pour la gestion des impacts environnementaux et de fournir des conseils stratégiques au ministre de l'environnement[308]. Depuis le 1er juillet 2017, il est assisté du DWER dans la réalisation d'études d'impact environnementales et l'élaboration de politiques de protection[309].

L'article 44 de l'*Environmental Protection Act of 1986* exige que l'Environmental Protection Authority (EPA) prépare un rapport sur les résultats de son évaluation à la suite de la présentation d'un projet par un promoteur.

---

replacement concerned might cause an emission, or alter the nature or volume of the waste, noise, odour or electromagnetic radiation emitted, from the prescribed premises; or

(b) constructs, relocates or alters any discharge or emission pipe, channel or chimney through which waste is or may be discharged into the environment from the prescribed premises or carries out any work which is the beginning of, or any subsequent step in, any such construction, relocation or alteration,

commits an offence unless he does so —

(c) in accordance with —

(i) a works approval; or

(ii) a licence; or

(iii) a requirement contained in a closure notice or an environmental protection notice,

as the case requires; or

(d) only in the course of and for the purpose of general maintenance required to maintain the efficient operation of any pollution control equipment or procedure.

[Section 53 amended by No. 54 of 2003 s. 40 and 71.]

[307] *Environmental Protection Act* 1986, Western Australia, version 09-a0-00, actualisé le 4 mai 2018, https://www.legislation.wa.gov.au/legislation/statutes.nsf/main_mrtitle_304_homepage.html.

[308] *About The Environmental Protection Authority,* functions of the EPA, http://www.epa.wa.gov.au/about-environmental-protection-authority.

[309] *Ibid.*

L'EPA fournit une recommandation au ministre de l'Environnement, après avoir pris connaissance des résultats de l'évaluation. Le rapport de l'EPA doit notamment faire référence aux principaux facteurs environnementaux identifiés au cours de l'évaluation. Si l'EPA recommande le projet, elle peut identifier les conditions auxquelles le projet devrait être soumis[310].

7.3.2 Le projet minier Wingellina

En 2013, Hinckley Range Pty Ltd a proposé d'extraire du minerai nickelifère du gisement Wingellina situé à environ 1 400 km au nord-est de Perth, en Australie-Occidentale[311]. La durée de vie prévue de la mine était de plus de 40 ans à un taux d'extraction pouvant atteindre 4,5 millions de tonnes par année[312].

Le promoteur du projet a d'abord soumis une proposition à l'EPA en septembre 2013. Un examen environnemental public d'une durée de 8 semaines a par la suite été mis en branle. L'EPA a finalement recommandé le projet, qui a été approuvé le 1er septembre 2016 par le ministre de l'Environnement de l'Australie occidentale[313].

En vertu de l'article 44, l'EPA a recommandé la mise en place du projet au ministre de l'Environnement, sous réserve du respect de 7 conditions[314]. Parmi ces conditions figurait notamment l'obligation de mettre en place un plan pour assurer le maintien de la qualité de

[310] *Environmental Protection Act* 1986, Western Australia, version 09-a0-00, actualisé le 4 mai 2018, https://www.legislation.wa.gov.au/legislation/statutes.nsf/main_mrtitle_304_homepage.html. art. 44 (2) (b).

[311] *Report and recommendations of the Environmental Protection Authority*,Wingellina Nickel Project, Hinckley Range Pty Ltd, Report 1568, June 2016, p.3.

[312] *Report and recommendations of the Environmental Protection Authority*,Wingellina Nickel Project, Hinckley Range Pty Ltd, Report 1568, June 2016, p.3.

[313] *Statement that a proposal may be implented*, Wingellina Nickel Project, 1 Septembre 2016, Statement No. 1034, http://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/1MINSTAT/Statement%20No.%201034.pdf.

[314] *Report and recommendations of the Environmental Protection Authority*,Wingellina Nickel Project, Hinckley Range Pty Ltd, Report 1568, June 2016, p.28 et appendice 5.

l'air[315]. Ce plan ne fait pas cependant référence à une norme spécifique, ni à une fréquence de mesurage particulière. Il s'agit plutôt d'un outil général visant à contrôler la qualité de l'air et sa contamination par le nickel[316]. Toutefois, cette condition visant l'établissement d'un plan de gestion de la qualité de l'air n'a pas été reprise dans l'autorisation ministérielle émise à la suite de la recommandation de l'EPA[317].

Dans son document de proposition, le promoteur du projet fait référence à une norme annuelle de 0.003 µg/m^3, mesurée en PM10, en établissant que les projections scientifiques établies quant à l'émission de particules nickel dans l'air montrent que le projet soumis respectera cette norme[318]. La norme de 0.003 µg/m^3 a d'ailleurs été recommandée par le DoH et utilisée dans un autre projet soumis antérieurement à l'EPA[319].

Dans son rapport, l'EPA confirme que les projections scientifiques présentées par le promoteur établissent que la norme annuelle de 0.003 µg/m^3 sera respectée[320]. Elle reconnaît d'ailleurs que le projet Wingellina tel que présenté respecte ces exigences quant à l'aspect de la qualité de l'air[321].

Lors de sa prise de décision, l'EPA se fie notamment à des guides de bonnes pratiques. Ces guides sont surtout généraux et non pas un caractère contraignant. Ainsi, ils ne font pas nécessairement référence une norme particulière à respecter pour le nickel. Ils servent cependant

---

[315] *EPA Recommends Conditional Approval for new nickel mine,* Report 1568, 20 juin 2016, http://www.epa.wa.gov.au/media-statements/epa-recommends-conditional-approval-new-nickel-mine-report-1568, p. 16; appendice 5, condition 6.

[316] *Report and recommendations of the Environmental Protection Authority,*Wingellina Nickel Project, Hinckley Range Pty Ltd, Report 1568, June 2016, p. 14.

[317] *Statement that a proposal may be implented,* Wingellina Nickel Project, 1 Septembre 2016, Statement No. 1034, http://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/1MINSTAT/Statement%20No.%201034.pdf.

[318] *Health Risk Assessement,* Wingellina Nickel Project, Metals X Limited, SNC Lavallin, p.48 et 53.

[319] *Op. cit.,* p.46.

[320] *Report and recommendations of the Environmental Protection Authority,*Wingellina Nickel Project, Hinckley Range Pty Ltd, Report 1568, June 2016, p.15.

[321] *Op. cit.,* p.15.

de base pour orienter les décisions de l'EPA. Le guide de bonnes pratiques contient certaines orientations quant à la qualité de l'air[322]. Un autre guide vise notamment à délimiter les distances minimales entre les sites émetteurs et les lieux sensibles situés à proximité de ces sites[323].

Avant le 1er juillet 2017, il semble que le respect d'une norme spécifique n'était pas nécessairement, du point de vue de l'EPA, une condition obligatoire pour l'approbation du projet[324]. En effet, le DWER et l'EPA pouvaient produire deux rapports pour un même projet. C'est d'ailleurs pour cette raison que l'EPA mentionne dans son rapport pour le projet Wingellina qu'elle impose un plan de gestion des poussières, mais que le DWER pourra également imposer des conditions plus précises[325]. Cependant, depuis le 1er juillet 2017, le DWER et l'EPA travaillent de manière conjointe pour délivrer les autorisations environnementales.

---

[322] *Environmenal Factor Guideline*, Environmental Protection Authority, December 2016, ,http://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/Policies_and_Guidance/Guideline-Air-Quality-131216_2.pdf

[323] *Guidance for the Assessment of Environmental Factors Western Australia (in accordance with the Environmental Protection Act 1986),* Separation Distances between Industrial and Sensitive Land Uses June 2005, http://www.epa.wa.gov.au/policies-guidance/separation-distances-between-industrial-and-sensitive-land-uses-gs-3, annexe 1.

[324] *Environmenal Factor Guideline*, Environmental Protection Authority, December 2016, http://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/Policies_and_Guidance/Guideline-Air-Quality-131216_2.pdf

8. La norme européenne

Toute recherche sur la pollution de l'air et la norme nickel dans les 28 pays de l'Union Européenne doit commencer par une compréhension générale du droit de l'environnement de l'Union européenne, car les législations nationales en matière de pollution atmosphérique reposent souvent sur des textes qui ont été édictés par les instances européennes et qui doivent être respectés par les États membres.

8.1 Généralités sur le droit européen de l'environnement[326]

Dans le droit de l'Union européenne, la protection de l'environnement constitue une compétence partagée entre l'Union et les États membres qui peuvent légiférer et adopter des actes juridiquement contraignants dans ce domaine. Les États membres exercent leur compétence dans la mesure où l'Union n'a pas exercé la sienne. Les États membres exercent à nouveau leur compétence dans la mesure où l'Union a décidé de cesser d'exercer la sienne. L'Union est spécifiquement autorisée à agir pour préserver, protéger et améliorer la qualité de l'environnement; protéger la santé des personnes; veiller à l'utilisation prudente et rationnelle des ressources naturelles; assurer la promotion, sur le plan international, de mesures destinées à faire face aux problèmes régionaux ou planétaires de l'environnement. En vertu du principe de subsidiarité, l'Union n'intervient que si une mesure ne peut être appliquée adéquatement par les États membres pris individuellement. Chaque État membre conserve donc une compétence originaire de principe quand l'UE n'est pas intervenue. Sur le plan du droit, l'UE s'exprime par des Règlements et des Directives.

Contrairement au Règlement qui est directement applicable dans tous les États membres et s'impose directement à chacun, la Directive impose seulement un résultat à atteindre et laisse à chaque État une large part d'appréciation quant au choix des moyens qu'il doit mettre en oeuvre pour réaliser l'objectif poursuivi[327]. La Directive indique généralement un délai, plusieurs années

[326] Voir: Jan H. Jans &Hans H.B. Vedder, *European environmental law* , Europa Law Publishing, Fourth ed., 2012; Martin Hedemann-Robinson, *Enforcement of european union environmental law. Legal issues and challenges*, Routledge, London & New York, Second ed. 2015; Patrick Thieffry, *Droit de l'environnement de l'Union européenne*, 2ième éd, Bruylant, Bruxelles 2011.

[327] Art. 288, Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne. Les États membres disposent d'une latitude de décision, mais ils ne peuvent adopter des mesures contraires aux buts définis pat la directive, sinon le règlement national qui viole la directive sera abrogé.

parfois, pour que l'État la transpose dans son droit interne, car cette transposition implique souvent l'adoption de nouvelles législations ou réglementations. Chaque État doit transmettre à la Commission le texte des dispositions essentielles de droit interne qu'il a adoptées pour se conformer à la directive. En cas de défaut de transposition de la directive dans le droit national, un État membre peut être condamné financièrement à de fortes pénalités par la Cour de justice européenne. Le droit communautaire reconnaît par ailleurs que tout État membre peut appliquer des mesures environnementales plus strictes que celles établies par l'Union, à la condition de ne pas fausser le jeu de la concurrence.

8.1.1 La Directive 2004/107/CE sur l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques

8.1.1.1 Contexte et approche globale

Si le nickel n'a pas reçu d'attention spécifique sur le plan du droit international, il a par contre fait l'objet de mesures spéciales sur le plan du droit communautaire européen[328].

Depuis les années 1990, l'Union européenne a joué un rôle majeur dans la définition des politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air. On doit rappeler tout d'abord que la Communauté économique européenne- comme elle s'appellait alors- a signé la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (PATLD) le 14 novembre 1979 et l'a approuvée[329] le 11 juin 1981 par la décision 81/462/CEE du Conseil. La Communauté a également approuvé les protocoles à la Convention PATLD, dont le Protocole de Göteborg de 1999 qui fixe, pour chaque État partie, des plafonds d'émission pour le soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et l'ammoniac, ainsi que le Protocole sur les métaux lourds (mercure, cadmium et plomb) le 4 avril 2001 dans la décision 2001/379/CE du Conseil[330] ainsi

[328] Sur le droit européen de l'environnement, voir notamment : Patrick Thieffry, *Traité de droit européen de l'environnement,* 3ième éd, Bruylant 2015.

[329] Décision 81/462/CEE du Conseil du 11 juin 1981 concernant la conclusion de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (JO L 171 du 27.6.1981).

[330] Décision 2001/379/CE du Conseil du 4 avril 2001 relative à l'approbation, au nom de la Communauté européenne, du protocole à la convention de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance relatif aux métaux lourds (JO L 134 du 17.5.2001, p. 40). Décision (UE) 2016/768 du Conseil du 21 avril 2016 portant acceptation des amendements au protocole de 1998 à la convention de 1979 sur la

que de nombreux autres protocoles adoptés dans le cadre de la convention PATLD. Pour une bonne partie, l'action communautaire s'inscrit dans la nécessité de transposer ces instruments internationaux dans le droit de l'Union européenne, avant que ses États membres eux-mêmes soient contraints de transposer les directives européennes dans leur propre droit interne.

La première grande directive de l'UE sur la pollution de l'air remonte à 1996; il s'agit de la Directive 96/62/CE du Conseil du 27 septembre 1996, une directive-cadre portant sur l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant et qui fut à l'origine, par la suite, de quatre autres directives qui viennent établir des valeurs réglementaire pour plusieurs polluants : la directive 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant; la directive 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant; la directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant; la directive 2004/107/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant. À cet ensemble, il faudrait encore ajouter la décision 97/101/CE du Conseil du 27 janvier 1997 établissant un échange réciproque d'informations et de données provenant des réseaux et des stations individuelles mesurant la pollution de l'air ambiant dans les États membres. La plupart de ces directives ont été abrogées et remplacées par la ***Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.***

C'est évidemment la Directive 2004/107/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant qui nous intéresse ici. Fait notable, elle intègre dans son orbite le nickel qui avait pourtant été exclu du Protocole d'Aarhus sur les métaux lourds. C'est une obligation juridique pour les États membres de l'UE de la transposer dans leur ordre juridique national.

---

pollution atmosphérique transfrontière à longue distance relatif aux métaux lourds (JO L 127 du 18.5.2016, p. 8-20).

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, cette Directive 2004/107/CE n'a pas été abrogée par la ***Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008***[331] ***concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe*** **qui vient remplacer plusieurs directives antérieures**[332] **adoptées entre 1996 et 2002 et fusionner dans un seul texte la réglementation visant** les particules (PM 10 et PM 2,5), les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, l'ozone, le monoxyde de carbone, le benzène et le plomb. La Directive de 2008 déclare en effet que « [l]orsqu' une expérience suffisante aura été acquise dans la mise en œuvre de la Directive 2004/107/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant , il pourra être envisagé d'en fusionner les dispositions avec celles de la présente directive ». Jusqu'à date, cette fusion n'a pas encore été faite, mais il faudrait voir dans quelle mesure les pratiques administratives découlant de la Directive 2008/50/CE vont imprégner ou ont déjà imprégné les pratiques en vigueur sous la Directive 2004/107/CE parce que, généralement, la mise en œuvre de la surveillance de la qualité de l'air et l'information du public au niveau de chaque État se réalise sur la base d'un cadre d'action national global qui peut répartir les responsabilités entre les autorités nationales, régionales et locales, conformément au programme national de lutte contre la pollution atmosphérique.

Comme bien des textes juridiques, la Directive 2004/107/CE a évolué avec le temps et il faut la lire à la lumière d'autres textes qui ont été adoptés par après. On pense ici à la *Décision d'exécution de la Commission du 12 décembre 2011 portant modalités d'application des directives 2004/107/CE et 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil concernant l'échange réciproque d'informations et la déclaration concernant l'évaluation de la qualité de l'air ambiant* qui fixe les modalités d'application des directives 2004/107/CE et 2008/50/CE en ce qui concerne tant les obligations de rendre compte de l'évaluation et de la gestions de l'air

---

[331] Journal officiel de l'Union européenne L 152/1, 11. 6. 2008.

[332] Elle remplace, en les fusionnant dans un texte unique et en les actualisant, les texte antérieurs sur la question : la directive 96/62/CE du Conseil du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant (5), la directive 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant (6), la directive 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant (7), la directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant (8) et la décision 97/101/CE du Conseil du 27 janvier 1997 établissant un échange réciproque d'informations et de données provenant des réseaux et des stations individuelles mesurant la pollution de l'air ambiant dans les États membres.

ambiant que l'échange réciproque d'informations concernant les réseaux et les stations de surveillance. On peut citer encore la Directive 2015/1480 du 28 août 2015[333] modifiant plusieurs annexes des directives du Parlement européen et du Conseil 2004/107/CE et 2008/50/CE qui établissent les règles concernant les méthodes de référence, la validation des données et l'emplacement des points de prélèvement pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant. On peut également citer ici la Directive 2016/2284 du 14 décembre 2016[334] quant aux exigences de déclaration annuelle des rapports d'inventaire (art.8).

La Directive 2004/107/CE constate en tout premier lieu que « [l]es preuves scientifiques montrent que l'arsenic, le cadmium, le nickel et certains hydrocarbures aromatiques polycycliques sont des agents carcinogène (sic) génotoxiques pour l'homme et qu'il n'existe pas de seuil identifiable au-dessous duquel ces substances ne présentent pas de risque pour la santé des personnes ». Elle admet toutefois qu'eu égard au rapport coût-efficacité, « il n'est pas possible d'atteindre dans certains secteurs spécifiques des concentrations d'arsenic, de cadmium, de nickel et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant qui ne représentent pas un risque significatif pour la santé des personnes».

8.1.1.2 Le régime juridique général de la gestion de l'air ambiant

Dans sa structure générale, la Directive 2004/107/CE définit les modalités d'évaluation de la qualité de l'air ambiant (système, critère, points de prélèvement et méthodes de référence), les modalités de gestion de la qualité de l'air ambiant (valeurs limites, valeurs cibles, mesures et les modalités d'information (information du public, transmission des informations et des rapports). Elle définit des valeurs cibles pour les polluants qui y sont visés afin d'éviter, de prévenir ou de réduire leurs effets nocifs pour la santé humaine et pour l'environnement dans son

---

[333] En 2015, les annexes 1V et V de la Directive 2004/107/CE, portant respectivement sur les objectifs de qualité des données et sur les méthodes de référence pour l'évaluation des concentrations, ont été modifiées pour tenir compte de l'évolution des normes et pratiques en la matière. Les États membres doivent mettre en vigueur les dispositions législatives, réglementaires et administratives nécessaires au plus tard le 31 décembre 2016. Directive (UE) n° 2015/1480 de la Commission du 28 août 2015 (JOUE n° L 226 du 29 août 2015.

[334] *Directive concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques, modifiant la directive 2003/35/CE et abrogeant la directive 2001/81/CE.* Art.8, 1 : Les États membres élaborent et mettent à jour chaque année des inventaires nationaux des émissions pour les polluants figurant dans le tableau A de l'annexe I, conformément aux exigences qui y sont énoncées.8.3- 3. Les États membres établissent un rapport d'inventaire qui est joint aux inventaires nationaux des émissions et aux projections nationales des émissions visés aux paragraphes 1 et 2, conformément aux exigences énoncées dans le tableau D de l'annexe I.

ensemble. La Directive indique aussi la nature des rapports qui doivent être soumis, les conditions nécessaires dans lesquelles doivent se réaliser l'évaluation des concentrations dans l'air, l'emplacement, le nombre des points de prélèvement et les méthodes de mesure de référence. Elle traite aussi de la nécessité pour les autorités publiques de bien informer le public en signalant les dépassements annuels des valeurs cibles et en précisant les causes du dépassement et le secteur qu'il concerne. Finalement, elle prévoit les plans et les programmes nécessaires en cas de dépassement des valeurs de référence.

A) La détermination de la valeur cible

Nous devons d'abord expliquer sur quel fondement repose la valeur 20ng/m^3 et établir la distinction entre valeur cible et valeur limite. Nous verrons qu'il ne s'agit que d'une obligation de moyen seulement, mais qui vaut pour tous les pays de l'UE.

i) Justification technique et scientifique

En 2001, la Commission européenne a publié une importante étude[335] sur l'arsenic, le cadmium et le nickel. Ce rapport, rédigé par un Groupe de travail *ad hoc* sur la question, recommande une valeur limite de 10-50ng/Ni/m^3 comme moyenne annuelle. Pour définir cette fourchette des concentrations admissibles, le Groupe de travail a tenu compte des effets non cancérigènes (appareil respiratoire, système immunitaire, régulation endocrinienne) et des effets cancérigènes (génotoxicité, risque de surmortalité d'un sur un million), des approches cancer et non-cancer pour voir si les deux approches donnent des valeurs limites compatibles et de la possibilité de trouver un compromis raisonnable pour assurer un niveau de protection adéquat[336]. Pour les effets non cancérigènes, le Groupe de travail propose une valeur limite se situant dans une fourchette de 10-50 ng Ni/m³ comme moyenne annuelle[337]. Pour les effets cancérigènes, le Groupe estime qu'une valeur limite comprise entre 10 et 50 ng / m³ provenant d'effets non cancérigènes peut être jugée compatible avec l'objectif de limiter le risque de cancer à pas plus d'un cas sur un million. La majorité du Groupe propose une valeur limite qui se situe au bas de

[335] European Commission, *Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds Position Paper. Final Version,* 2001.[http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/pp_as_cd_ni.pdf]. Consulté le 8 mars 2018. Pour une discussion complète de la norme proposée, voir p.179- 191.

[336] European Commission, *Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds Position Paper. Final Version,* 2001, p.164.

[337] Id., p.185.

cette fourchette en tant que moyenne annuelle du nickel total en suspension dans l'air[338]. Les membres de l'industrie faisant partie du Groupe de travail étaient en désaccord avec la recommandation de 10 ng / m³ comme valeur limite et considéraient plutôt qu'une valeur limite de 50 ng Ni/m³ serait plus qu'adéquate pour protéger la santé publique[339].

Si le Groupe de travail a proposé une fourchette de 10-50ng/m³, c'est parce qu'il est arrivé à la conclusion que les études disponibles ne permettaient pas d'établir une concentration maximale sans effet nocif observable (NOAEL[340]). Il s'est plutôt basé sur la concentration minimale avec effet nocif observé de 0,06 mg/m³ (LOAEL[341]) et extrapolé d'une exposition discontinue à une exposition «vie entière», tout en tenant compte d'autres facteurs. Sur les effets cancérogènes du nickel, le Groupe de travail a conclu que « [f]aute d'indices suffisants de l'absence de génotoxicité du nickel, (…) aucun seuil ne pouvait être fixé » et a jugé qu'une valeur limite comprise entre 10 et 50 ng / m³ peut être jugée compatible avec l'objectif de limiter le risque de cancer à pas plus d'un cas sur un million.

La Proposition de directive[342], préparée en 2003 par la Commission européenne à l'intention du Parlement européen, est intéressante à analyser parce qu'elle retrace la démarche suivie pour arriver à la valeur de 20ng/m3. Nous résumerons ici ce que nous jugeons comme l'essentiel des propos de la Commission sur la question.

À l'époque, soit au tournant du XXième siècle, les concentrations de nickel dans l'air ambiant en milieu rural ne dépassent pas 2 ng/m³, les valeurs les plus basses étant 0,4 ng/m³. En milieu urbain, les niveaux de fond se situent dans une fourchette de 1,4 à 13 ng/m³, mais près des installations industrielles, les concentrations peuvent être beaucoup plus importantes[343]. Les

---

[338] *Id.* p.189. *Thus, a limit value in the range 10-50 ng/m³ as derived from non-cancer effects can be judged compatible with the aim of limiting the excess lifetime cancer risk to not more than one in a million. The majority of the Group proposes a limit value at the lower end of this range as an annual mean of total airborne nickel.*

[339] *Id.* p.190.

[340] No observed adverse effect level.

[341] Lowest observed adverse effect level

[342] Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant /* COM/2003/0423 final - COD 2003/0164 */ [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52003PC0423.

[343] Voir: European Commission, Working Group on Arsenic, Cadmium And Nickel Compounds, *Ambient air pollution by as, cd and ni compounds Position Paper*. October 2000. "In industrial areas in most EC countries, nickel concentrations range from 10 to 50 ng/m³. However, in heavily industrialized areas, concentrations up to 100 ng/m³ are possible".p.129 [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/pp_as_cd_ni.pdf].Consulté le 7 avril 2018.

sources importantes d'émission sont le raffinage du pétrole et les émissions fugitives des fours à arc des aciéries. La Commission européenne considère que certains composés de nickel, tout comme l'arsenic, le cadmium, le mercure et les HAP, « sont des agents cancérogènes connus chez l'homme pour lesquels il n'existe pas de seuil identifiable concernant leurs effets nocifs sur la santé des personnes ». Elle juge en conséquence qu'il est nécessaire d'appliquer le principe d'une exposition « aussi faible qu'il est raisonnablement possible à ces polluants[344] ».

Le Comité scientifique de la toxicité, de l'écotoxicité et de l'environnement de la Commission européenne (CSTEE) a considéré la valeur de 10ng/m³ comme appropriée, mais il a proposé de « travailler sur l'hypothèse que les composés solubles ne représentent généralement pas plus de 50% du nickel total dans l'air ambiant. Par conséquent, il recommande de ne pas dépasser une concentration de 20 ng/m³ pour éviter les effets non cancérogènes de ce métal ».

La Commission européenne a souligné que l'OMS[345] recommande une valeur de risque unitaire de 3,8 x 10-4 (µg/m³)-1 et que sur la base de cette valeur, « un excès de risque «vie entière» de 1/1 000 000 correspond à une concentration de 2,5 ng/m³ ». Notant que le sulfure de nickel ne représente que 10% de la concentration totale de nickel dans l'air ambiant, le CSTEE considère le 2,5ng/m³ de l'OMS comme une « estimation prudente » et considère qu'une « concentration de 20 ng/m³ protège suffisamment contre les effets cancérogènes ».

La fourchette 10-50ng/m³ du Groupe de travail a été confrontée aux résultats de l'analyse coût-bénéfice et un Rapport a été présenté à la Commission européenne en date de janvier 2001, intitulé *Economic Evaluation of Air Quality Targets for Heavy. Final Report*[346]. L'étude portait sur le coût des mesures selon 4 scénarios : 3ng, 10ng, 30ng et 50ng.

Selon la Commission européenne, dans sa Proposition[347] au Parlement européen (2003): [l]a valeur la plus basse a été jugée virtuellement inaccessible sur pratiquement tous les sites pour l'année cible de 2010, tandis que celle de 50 ng/m³ a été considérée comme faisable sur tous les sites sans frais supplémentaires. Concernant les concentrations de l'ordre de 20 ng/m³, l'étude

---

[344] Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant, supra.

[345] S*upra*, note 12

[346] p.25-26.[http://ec.europa.eu/environment/enveco/air/pdf/report_heavy_metals.pdf].Consulté le 6 avril 2018

[347] Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant /* COM/2003/0423 final - COD 2003/0164 */ [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52003PC0423]. Consulté le 6 avril 2018.

a conclu que, là où les techniques de mise aux normes pourraient s'appliquer, les coûts excéderaient nettement les avantages quantifiables spécifiques. En outre, elle a trouvé qu'une valeur de 10 ng/m³ était techniquement impossible à réaliser à proximité des neuf sites de production de cuivre que compte l'UE-15.

La Commission constate finalement que «le gain en diminution de la mortalité obtenu en respectant une concentration de 20 ng/m³ a été estimé à 0,3 million d'euros par an seulement ». Elle recommande donc une surveillance obligatoire là où les concentrations dépassent le seuil d'évaluation de 20 ng /m³ pour le nickel. Elle ne s'explique pas plus sur le choix de ce seuil.

La norme finalement retenue par la Directive 2004/107/CE sera de 20 ng/m^3 et paraît comme un compromis acceptable au sein de la Commission par rapport aux discussions qui avaient eu lieu au sein du Groupe de travail. Il s'agit là d'une moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM_{10}. Elle vaut autant pour les effets cancérigènes de la matière que pour ses effets non-cancérigènes. L'obligation fondamentale des États est de prendre toutes les mesures nécessaires, à compter du 31 décembre 2012, pour s'assurer que les concentrations de nickel dans l'air ambiant ne dépassent pas la valeur cible ainsi déterminée. Il est entendu que ces mesures ne doivent pas entraîner des coûts disproportionnés pour les entreprises et ne doivent pas entraîner la fermeture d'installations; pour les installations industrielles, ces mesures ne devraient pas entraîner des moyens qui vont au-delà de l'application des meilleures technologies disponibles. On peut dès lors conclure que la valeur cible doit être respectée « dans la mesure du possible[348] ». Ce fut une raison importante pour la Commission européenne, à l'époque, d'empêcher la survenance de coûts excessifs pour les entreprises.

On doit souligner encore aujourd'hui que les concentrations de nickel dans l'air ambiant, en Europe, ne semblent pas constituer le plus grand problème environnemental. Selon le Rapport de l'Agence européenne pour l'environnement[349] et pour l'année 2014, 98% des stations ont déclaré des concentrations de nickel inférieures au seuil d'évaluation inférieure, soit 10 ng / m3. Les concentrations de nickel étaient supérieures à la valeur cible de 20 ng / m3 dans cinq stations : en Belgique (1), en Norvège (1), en Espagne (1) et au Royaume-Uni (2). Le Rapport de

[348] Voir le considérant no 4 de la Directive 2004/107/CE.
[349] European Environment Agency, *Air quality in Europe — 2016 report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, EEA Report No 28/2016 2016, p.8, 50,53.

2017, portant sur l'année 2015, est sensiblement au même effet[350]. Au vu de ces chiffres, on peut probablement estimer que les craintes exprimées sur les impacts financiers négatifs importants entourant une norme potentielle de 10ng/m3 étaient peut-être exagérées, bien que dans quelques cas, on éprouve encore des difficultés à se conformer à la valeur cible de 20ng/m^3. Il faut aussi préciser que les mesures prises dans le cadre du Protocole d'Aarhus sur les métaux lourds de 1998 a grandement contribué, depuis, à la diminution des émissions polluantes en Europe.

ii) Valeur cible et valeur limite

Il s'agit d'une valeur cible et non d'une valeur limite. La valeur cible est définie comme une « concentration dans l'air ambiant qui est fixée dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs pour la santé des personnes et l'environnement dans son ensemble qu'il convient d'atteindre, si possible, dans un délai déterminé ». Les valeurs cibles qui y sont définies ne doivent pas être considérées comme des normes de qualité environnementale, lesquelles requièrent des conditions plus strictes que celles pouvant être obtenues par l'utilisation de meilleures technologies disponibles (MTD). En effet, dans les zones et agglomérations où les valeurs cibles sont dépassées et afin d'éviter des coûts disproportionnés, c'est le recours aux MTD qui est prévu pour les installations industrielles. Dans le droit européen, la valeur limite est plutôt définie comme un « niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint »[351].

On peut se demander pourquoi la Directive 2004/107/CE a opté pour une valeur cible plutôt que pour une valeur limite. La Commission européenne s'est brièvement expliquée sur ce point en affirmant que, puisqu'il n'existe pas « de mesure économiquement rentable pour respecter partout des niveaux de concentration qui ne génèrent pas d'effets nuisibles pour la santé

[350] European Environment Agency, *Air quality in Europe — 2017 report*, EEA Report No 13/2017. "Ni data from 595 stations in 26 European countries (36) were reported in 2015. Concentrations were above the target value of 20 ng/m3 at two industrial stations, in Norway (one) and the United Kingdom (one). About 97 % of the stations reported Ni concentrations below the LAT of 10 ng/m3 (see Map 8.4)", p.48-49. Traduction: Les données de Ni de 595 stations dans 26 pays européens ont été rapportées en 2015. Les concentrations étaient supérieures à la valeur cible de 20 ng / m3 dans deux stations industrielles, en Norvège (un) et au Royaume-Uni (un). Environ 97% des stations ont déclaré des concentrations de Ni inférieures au seuil inférieur d'évaluation de 10 ng / m3 (voir carte 8.4), p.48-49

[351] Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe; Directive 2004/107/CE qui réfère sur ce point à la Directive 96/62/CE du Conseil du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant. La Directive 1996 a été remplacée par la Directive 2008/50/CE.

des personnes, la proposition ne suit pas la directive 96/62/2 qui prévoit des valeurs limites obligatoires[352] ». Cependant, elle atténue la mollesse de la norme en proposant que toutes les mesures de réduction proportionnées doivent être prises en cas de dépassement de la valeur cible, qu'après 2007, l'application des MTD sera exigée pour toute installation industrielle qui contribue au dépassement et que les États membres auront le devoir d'informer la Commission et le public de tout dépassement de la valeur cible, des raisons de celui-ci et des mesures prises à cet égard.

Par ailleurs, la Directive 2004/107/CE déclare expressément que les États membres peuvent maintenir ou établir des mesures de protection renforcée contre le nickel et autres polluants qu'elle vise.

iii) Une obligation de moyens

Finalement, il y a lieu de nous interroger sur la nature juridique de l'obligation qui est créée à la charge de chaque État. La terminologie utilisée dans la Directive 2004/107/CE nous indique que nous sommes devant une obligation de moyens et non de résultat; en effet, quand l'art. 3 déclare que les États « prennent toutes les mesures nécessaires qui n'entraînent pas de coûts disproportionnés » pour veiller à ce que les concentrations de nickel et autres métaux ne dépassent pas les valeurs cibles fixées et qu'en cas de dépassement de ces valeurs, ils doivent démontrer « qu'ils appliquent toutes les mesures nécessaires n'entraînant pas de coûts disproportionnés », on comprend que le respect de la valeur cible n'est pas une obligation de résultat. En présence de coûts jugés disproportionnés, la Directive dit clairement, mais implicitement, que la valeur peut être dépassée. Ceci s'accorde avec le fait que la Directive 2004/107/CE ne prévoit donc pas de valeurs limites obligatoires pour les métaux lourds, mais bien des valeurs cibles. Il semble que la France était opposée à l'idée de valeurs limites obligatoires puisque, selon elle, et « dans l'état des technologies actuelles, il ne paraissait pas possible d'atteindre les valeurs limites envisagées[353]. On conclut donc que le dépassement de la

---

[352] Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant /* COM/2003/0423 final - COD 2003/0164 */ [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52003PC0423]. Consulté le 6 avril 2018.

[353] Assemblée nationale française, Document E2350 (Mise à jour : 12 décembre 2009). Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel, et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.[http://www.assemblee-nationale.fr/europe/dossiers_e/e2350.asp], consulté le 12 mars 2018.Voir aussi : Cour des Comptes, *Les politiques publiques de lutte contre la pollution de*

valeur cible pour le nickel ne peut être susceptible de sanction devant les autorités administratives européennes.

iv) Une norme uniforme partout dans l'UE

On retiendra donc que partout dans l'Union européenne, les États membres ont, *grosso modo*, les mêmes normes quant à la pollution de l'air par le nickel, puisque celle-ci fait déjà l'objet, depuis 2004, d'une directive précise sur le sujet. Bien entendu, les législations nationales peuvent varier de l'une à l'autre quant au choix des moyens pour appliquer la norme. Une recherche rapide dans la banque de données *Airlex Worldwide Air Quality Legislation*[354] confirme la conclusion que la norme annuelle 20ng »m/^{3} fait loi dans toute l'Union européenne.

La norme nickel dans les pays de l'Union européenne, selon la banque de données Airlex (13 mars 2018)

Pays	Unité	Période	Norme	Remarque
Allemagne	ng/m3	Moyenne an.	20	Protection de la santé
Autriche	ng/m3	Moyenne an.	20	
Belgique	ng/m3	Moyenne an.	20	
Bulgarie	ng/m3	Moyenne an.	20	
Chypre	ng/m3	Moyenne an.	20	
Croatie	ng/m3	Moyenne an.	20	
Danemark	ng3m3	Moyenne an.	20	
Espagne	ng/m3	Moyenne	20	

l'air Enquête demandée par le Comité d'évaluation et de contrôle des politiques publiques de l'Assemblée nationale, Décembre 2015, p.15. Le Rapport estime que la non-atteinte des valeurs cibles établies pour le plomb, l'arsenic, le nickel, le cadmium, le benzo(a)pyrène, l'ozone et les particules PM2,5 « **n'est pas sanctionnable** ».[https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/20160121-rapport-politiques-publiques-lutte-contre-pollution-air.pdf]. Consulté le 13 mars 2018.Voir aussi: Marco GEMMER, XIAO Bo, "Air Quality Legislation and Standards in the European Union: Background, Status and Public Participation", ADVANCES IN CLIMATE CHANGE RESEARCH 4(1): 50–59, 2013[https://ac.els-cdn.com/S1674927813500062/1-s2.0-S1674927813500062-main.pdf?_tid=e17eab4d-7914-4eac-86af-beb81f403bce&acdnat=1523463972_9a9ba299bc44dbd87ea2afbd66891774]. *A target value has to be attained as far as possible by the attainment date and compliance is checked but not legally binding.*

[354] http://airlex.web.ua.pt/airlexDatabasePublic. Consulté le 13 mars 2018.

		an.	
Estonie	ng/m3	Moyenne an.	20
Finlande	ng/m3	Moyenne an.	20
France	ng/m3	Moyenne an.	20
Grèce	ng/m3	Moyenne an	20
Hongrie	ng/m3	Moyenne an.	20
Irlande	ng/m3	Moyenne an.	20
Italie	ng/m3	Moyenne an.	20
Lettonie	ng/m3	Moyenne an.	20
Lituanie	ng/m3	Moyenne an.	20
Luxembourg	ng/m3	Moyenne an.	20
Malte	ng/m3	Moyenne an.	20
Pays-Bas	ng/m3	Moyenne an.	20
Pologne	ng/m3	Moyenne an.	20
Portugal	ng/m3	Moyenne an.	20
Rép.Tchèque	ng/m3	Moyenne an.	20
Roumanie	ng/m3	Moyenne an.	20
Royaume-Uni	ng/m3	Moyenne an.	20
Slovaquie	ng/m3	Moyenne an.	20
Slovénie	ng/m3	Moyenne an.	20
Suède	ng/m3	Moyenne an.	20

Naturellement, il resterait à examiner la manière dont chaque État membre de l'UE s'acquitte de son obligation de faire respecter la valeur cible sur son territoire.

8.1.1.3 Délimitation du territoire, seuils d'évaluation et méthodes d'évaluation de la qualité de l'air ambiant

Avec la Directive 2004/107/CE, on assiste à une gestion territoriale de l'air, non seulement au niveau de chaque État mais aussi à l'intérieur de chaque État. Pour chaque polluant on assigne des cibles à respecter et on définit des méthodes d'évaluation de la pollution selon le degré de pollution qu'on y trouve. On procède aussi à un zonage du territoire national pour des fins de surveillance et de contrôle.

A) Le zonage du territoire national

La qualité de l'air ambiant est évaluée dans l'ensemble du territoire de chaque État membre de l'UE qui doit délimiter son territoire en zones de surveillance qui peuvent correspondre à des agglomérations, des communautés urbaines ou des régions. Une zone est une partie du territoire d'un État membre délimitée par lui aux fins de l'évaluation et de la gestion de la qualité de l'air. En France par exemple, une partie du territoire national qui a été délimitée aux fins d'évaluer, de gérer la qualité de l'air et de procéder au rapportage des données sur la qualité de l'air auprès des instances européennes est désignée comme une zone administrative de surveillance[355]. Ces zones sont délimitées en tenant compte des niveaux de polluants, des populations exposées, des sources d'émissions et des conditions météorologiques qui prévalent dans ces zones[356].

Chaque État doit établir une liste des zones et agglomérations où la concentration de nickel et autres métaux dans l'air ambiant est inférieur à la valeur cible et une autre liste des zones et agglomérations où la valeur cible est dépassée. Dans le premier cas, l'État doit maintenir le degré de concentration du nickel au-dessous de la valeur cible. Dans le second cas, il doit démontrer qu'il applique toutes les mesures nécessaires, sans pour autant exiger des moyens qui entraînent des coûts disproportionnés, pour atteindre la valeur cible. Dans ce dernier contexte, il est toujours entendu que pour les grandes installations industrielles visées par

[355]Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

[356] Voir Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air ambiant JORF n°0303 du 30 décembre 2016 texte n° 27. La France est découpée en 18 régions qui regroupent des zones de surveillance classées selon 3 modes : zones à risques-agglomérations qui comportent une agglomération de plus de 250 000 habitants, zones- hors agglomération et zones régionale. La France compte 18 Associations agréées de surveillance de qualité de Aasqa, (une pour chaque région) qui sont chargée de surveiller la qualité de l'air.

l'ancienne directive 96/61 CE, ainsi que par la Directive 2004/107/CE, (art.3.3) il s'agit de l'emploi des meilleures technologies disponibles (MTD). Dans les situations où la valeur cible est dépassée, l'État doit aussi identifier les secteurs de dépassement, les valeurs de concentration évaluées, les causes du dépassement, les sources qui y ont contribué et les populations exposées à ce dépassement.

B) Seuils d'évaluation et méthodes d'évaluation

Chaque zone ou agglomération est classée par rapport à ces seuils d'évaluation. L'objectif de cette approche est de maintenir un suivi des concentrations et de leur évolution et de s'assurer que la classification de la zone reste valable[357] ». L'article 4 de la Directive 2004/107/CE précise que les zones de qualité de l'air doivent être classées par rapport aux seuils d'évaluation au moins sur un cycle de cinq ans et plus fréquemment dans l'hypothèse d'un changement significatif dans les activités pertinentes aux concentrations ambiantes. L'annexe 11, section 2 de la Directive 2004 précise qu'un seuil d'évaluation est considéré comme dépassé s'il a été franchi pendant au moins trois années de calendrier au cours de ces cinq années précédentes.

L'un des grands objectifs de la Directive 2004/107/CE, outre la définition des valeurs cibles pour les polluants qui y sont visés, est de déterminer des méthodes et des critères communs pour l'évaluation des concentrations du nickel et autres polluants dans l'air ambiant et de garantir que des informations adéquates sont obtenues. Cette Directive fixe donc des seuils d'évaluation, dits maximal et minimal, qui sont destinés à graduer les moyens mis en oeuvre dans la surveillance de l'air ambiant et qui varient en fonction des concentrations des polluants dans l'air. L'OMS reconnaît que « le degré de pollution de l'air peut être plus élevé au voisinage de sources particulières de pollution comme les routes, les centrales énergétiques et autres grandes sources fixes de pollution » et que « [l]es concentrations de polluants de l'air devraient être mesurées dans des sites de surveillance représentatifs de l'exposition à laquelle est soumise la population [358]».

---

[358] Organisation Mondiale de la santé, *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre. Mise à jour mondiale 2005. Synthèse de l'évaluation des risques.*

La Directive 2004/107/CE distingue quatre méthodes d'évaluation de la qualité de l'air, classées notamment en fonction des objectifs de qualité des données: les mesures fixes, les mesures indicatives, la modélisation et l'estimation objective. La *Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe* définit les mesures fixes comme « des mesures effectuées à des endroits fixes, soit en continu, soit par échantillonnage aléatoire, afin de déterminer les niveaux conformément aux objectifs de qualité des données applicables »; elle définit également les mesures indicatives comme des « mesures qui respectent des objectifs de qualité des données moins stricts que ceux qui sont requis pour les mesures fixes ».

Le recours aux méthodes fixes signifie une mesure effectuée à un endroit fixe et suppose une implantation géographique, selon des objectifs de qualité des données définis, alors que la modélisation est une représentation mathématique des concentrations. Les mesures indicatives et l'estimation objective semblent plus difficiles à saisir. La mesure indicative est définie par l'Arrêté français[359] du 19 avril 2017 comme une « mesure effectuée à un endroit fixe, soit en continu, soit par échantillonnage aléatoire réparti uniformément sur l'année, afin de déterminer les niveaux de concentration d'un polluant selon des objectifs de qualité des données moins stricts que ceux requis pour la mesure fixe et définis ». Le droit français définit le concept d'estimation objective comme « toute méthode permettant d'estimer l'ordre de grandeur des niveaux en polluants selon des objectifs de qualité des données définis dans l'annexe 5, en un point ou sur une aire géographique, sans nécessairement recourir à des outils mathématiques complexes ou aux équations de la physique [360] ». Les objectifs de qualité de l'annexe 5 concernent l'incertitude, la saisie minimale de données et la période minimale de prise en compte, exprimées en pourcentage.

On doit donc comprendre que le choix des méthodes d'évaluation est fonction des diverses zones de surveillance de la pollution de l'air et des valeurs limites fixées au polluant.

---

[359] Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant, JORF n°0095 du 22 avril 2017[ttps://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=B062F306BB66C5102F87BDBCB32B6FF3.tplgfr24s_2?cidTexte=JORFTEXT000034453742&dateTexte=20170422] Consulté le 10 et 11 mars 2018.

[360] Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant, JORF n°0095 du 22 avril 2017, texte n° 10. [https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=B062F306BB66C5102F87BDBCB32B6FF3.tplgfr24s_2?cidTexte=JORFTEXT000034453742&dateTexte=20170422]. Texte consulté le 10 mars 2018.

Pour le nickel, comme pour d'autres métaux comme l'arsenic et le cadmium, le recours à la méthode de l'estimation objective ou à la modélisation est possible, dès lors que la situation est en deçà du seuil inférieur d'évaluation. Les modalités de surveillance sont ainsi adaptées aux besoins de chaque zone administrative de surveillance ou agglomération, les stations fixes n'étant pas toujours justifiées dans les zones où le niveau de pollution est bas. *Il est procédé à une évaluation préliminaire dans une zone administrative de surveillance, sur une période limitée, en vue de classer cette zone par rapport aux seuils d'évaluation inférieurs et supérieurs.*

Du point de vue du choix des méthodes d'évaluation de la qualité de l'air, la Directive 2004/107/CE établit trois régimes différents[361] pour chacun des trois niveaux de concentration reconnus: *1- concentrations supérieures au seuil d'évaluation maximal (et a fortiori supérieures à la valeur limite); 2- concentrations comprises entre le seuil d'évaluation maximal et le seuil d'évaluation minimal; 3 - concentrations inférieures au seuil d'évaluation minimal.* Lorsque les concentrations dépassent certains seuils d'évaluation, la surveillance devient obligatoire[362]. Elle est aussi obligatoire dans les zones ou agglomérations dans lesquelles les concentrations se situent entre 50% et 70% (10ng/m^3- 14ng/m^3 pour le nickel).

Les dépassements des seuils d'évaluation supérieurs et inférieurs sont déterminés d'après les concentrations mesurées au cours des cinq années précédentes, si les données disponibles sont suffisantes. Un seuil d'évaluation est considéré comme ayant été dépassé s'il a été dépassé pendant au moins trois de ces cinq années.

Comme l'illustre le tableau ci-dessous, les seuils d'évaluation inférieurs ou minimaux et supérieurs ou maximaux sont exprimés en pourcentage de l'objectif environnemental poursuivi pour déterminer le régime de surveillance. Nous reproduisons ici les données de base sur les seuils d'évaluation minimaux et maximaux pour le nickel, tel qu'en fait foi la Directive 2004/107/CE.

---

[361] Ces régimes sont déjà présents dans la Directive 96/62/CE du Conseil du 27 septembre 1996. *Selon Rémy Stroebel, qui commente sur ce point* la *Directive 1999/30/CE sur l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant*, « [l]e but ultime de l'évaluation de la qualité de l'air est de classer le territoire des États membres en zones ou agglomérations correspondant aux trois régimes de charge polluante, aboutissant ainsi à des cartes présentant les différentes zones ». Rémy Stroebel « Travaux réglementaires et normatifs européens « Qualité de l'air », état des lieux et perspectives », *Pollution atmosphérique*, N°163, 1999, p. 32-52. La Directive de 2008 sur la qualité de l'air ambiant précise en effet que chaque zone ou agglomération est classée par rapport à ces seuils d'évaluation et ce, pour une période de 5 ans.

[362] Voir le considérant no 8 de la Directive 2004/107/CE.

Seuils d'évaluation maximal et minimal

	ARSENIC	CADMIUM	**NICKEL**	B(a)P
Seuil d'évaluation maximal en pour cent de la valeur cible	60 % (3,6 ng/m^3)	60 % (3 ng/m^3)	**70 % (14 ng/m^3)**	60 % (0,6 ng/m^3)
Seuil d'évaluation minimal en pour cent de la valeur cible	40 % (2,4 ng/m^3)	40 % (2 ng/m^3)	**50 % (10 ng/m^3)**	40 % (0,4 ng/m^3)

Source : Annexe 11, Directive 2004/107/CE. Seuils d'évaluation minimaux et maximaux

Quand les concentrations dépassent le seuil d'évaluation maximal (+14ng/m^3), l'évaluation doit se faire selon des critères établis pour déterminer l'emplacement des points de prélèvement qui sont susceptibles de fournir des données sur les endroits où la population peut être exposée directement ou indirectement aux concentrations qui sont calculées en moyenne sur une année civile[363]. On comprend alors qu'il s'agit de mesures fixes, c'est-à-dire des mesures effectuées à des endroits fixes soit en continu, soit par échantillonnage aléatoire[364]. Si des instruments de mesure automatique peuvent être utilisés pour certains polluants, les métaux comme le nickel nécessitent des prélèvements suivis d'analyses en laboratoire.

Quand les concentrations se situent entre 50% et 70% de la valeur cible, on peut recourir à une combinaison de mesures, y compris des mesures indicatives et des techniques de modélisation; les mesures indicatives respectent des objectifs de qualité des données moins stricts que ceux qui sont requis pour les mesures fixes[365]; il en découle aussi que les mesures en continu peuvent être partiellement remplacées par de la modélisation.

Dans les zones où les concentrations sont inférieures au seuil d'évaluation minimale, on peut se borner à utiliser uniquement des techniques de modélisation ou d'estimation objective.

---

[363] Directive 2004/107/CE, art. 4, parag.2 qui renvoie à l'annexe III.

[364] L'annexe V de la Directive 2004/107/CE prescrit les méthodes de référence pour l'échantillonnage et les mesures de concentration dans les termes suivants : *La méthode de référence pour l'échantillonnage de l'arsenic, du cadmium et du nickel dans l'air ambiant est décrite dans la norme EN 12341:2014. La méthode de référence pour la mesure de l'arsenic, du cadmium et du nickel dans l'air ambiant est celle décrite dans la norme EN 14902:2005 "Qualité de l'air ambiant — Méthode normalisée pour la mesure du plomb, du cadmium, de l'arsenic et du nickel dans la fraction MP10 de la matière particulaire en suspension".*

[365] Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, art.2, parag. 26.

C) Implantation des stations de mesure pour les HAP, l'arsenic, le cadmium, le nickel et le mercure

L'annexe 111 de la Directive 2004/107/CE prévoit même le nombre minimal de points de prélèvements pour les mesures fixes, quand les concentrations maximales dépassent le seuil d'évaluation maximal ou se situent entre les seuils d'évaluation minimal et maximal dans les zones ou agglomérations où les mesures fixent constituent la seule source d'information; ce nombre varie de 1 à 5 selon la taille des populations.

La Directive distingue deux types de sites : a) sites de proximité (trafic ou industriel); b) site de fond, urbain et rural. Le *Guide de lecture des directives européennes 2008/50 CE et 2004/107/CE*[366] présente des indications intéressantes sur le sujet. On peut les résumer de la manière suivante. Pour les sites de proximité industrielle, « au minimum un point de prélèvement doit être installé dans la zone résidentielle la plus proche sous le vent de la (ou des) source(s) et il faut que le point de prélèvement « soit représentatif d'une zone environnante d'au moins 200 m^2 pour les sites de proximité trafic, et d'une aire de 250 x 250 m, pour les sites de proximité industrielle ». En zone urbaine, « l'objectif est de mesurer dans les endroits des zones et agglomérations représentatifs de l'exposition de la population en général » et ces points de prélèvements sont généralement représentatifs de plusieurs kilomètres carrés. En zone rurale, « l'objectif est de fournir des renseignements sur les taux de dépôt représentant l'exposition indirecte de la population au travers de la chaîne alimentaire ».

Des indications précises sont données pour la micro-implantation des points de prélèvement.

8.1.1.4 Rapports officiels et information du public

Comme nous l'avons déjà souligné, les États sont tenus de transmettre à la Commission européenne toutes les informations nécessaires quand les valeurs cibles sont dépassées. Ils doivent rapporter toutes les mesures nécessaires qu'ils ont prises pour respecter ces valeurs cibles. Toutes ces informations sont mises à la disposition du public par la Commission, que ce soit via Internet ou la presse. C'est la *Décision d'exécution de la Commission du 12 décembre 2011 portant modalités d'application des directives 2004/107/CE et 2008/50/CE du Parlement*

[366] ADEME, ATMO France, LCSQA, [http://www.lcsqa.org/rapport/2009/ademe/guide-lecture-directives-europeennes-200850ce-2004107ce], consulté le 4 avril 2018.

européen et du Conseil concernant l'échange réciproque d'informations et la déclaration concernant l'évaluation de la qualité de l'air ambiant qui fixe les modalités d'application des directives 2004/107/CE et 2008/50/CE en ce qui concerne tant les obligations de rendre compte de l'évaluation et de la gestions de l'air ambiant que l'échange réciproque d'informations concernant les réseaux et les stations de surveillance.

Les États membres doivent veiller par ailleurs à ce que des informations claires et transparentes soient mises à la disposition du public, notamment des organismes de consommateurs, des organismes de santé ou des organisations représentant les intérêts de catégories sensibles de la population.

A) Sanctions

Il revient à chaque État de fixer les sanctions applicables afin de faire respecter sa législation nationale prise en application de la Directive 2004/107/CE et ces sanctions doivent être « efficaces, proportionnées et dissuasives ».

ANNEXE - Définition des différentes méthodes d'évaluation

1-Source : Laboratoire central de surveillance de qualité de l'air (LCSQA) *Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air ,* Février 2017). [https://www.lcsqa.org/rapport/2016/imt-ld-ineris/guide-methodologique-stations-francaises-surveillance-qualite-air].

1.1 Mesures fixes : mesures effectuées à des endroits fixes selon les méthodes spécifiées dans les Directives en vigueur afin de déterminer les niveaux de concentration de polluants conformément aux objectifs de qualité de données applicables à ces polluants. Note : dans le cas présent, le caractère « fixe » de l'endroit correspond à une implantation géographique identique pendant au moins une année. Selon la couverture temporelle requise, ces mesures sont effectuées de manière continue ou discontinue.
1.2 Mesures indicatives: mesures qui respectent des objectifs de qualité des données fixés dans les Directives en vigueur. Ces objectifs sont moins stricts que ceux qui sont requis pour les mesures fixes.
1.3 Modélisation : technique de représentation algorithmique des phénomènes de nature physique, chimique ou biologique, qui permet d'obtenir une information continue sur les niveaux de concentrations ou de dépôts atmosphériques sur une zone et une période données, et qui respecte les objectifs de qualité des données fixés dans les Directives en vigueur. La zone et la période concernées peuvent se situer en dehors des points et des périodes où sont réalisées les mesures.

1.4 Estimation objective: toute méthode formalisée permettant d'estimer l'ordre de grandeur des niveaux de concentration en polluants en un point donné ou sur une aire géographique sans nécessairement recourir à des outils mathématiques complexes ou aux équations de la physique et répondant aux objectifs de qualité des données fixés dans les Directives en vigueur.

2- Sources: Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant (France) JORF n°0095 du 22 avril 2017, texte n° 10 [https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=B062F306BB66C5102F87BDBCB32B6FF3.tplgfr24s_2?cidTexte=JORFTEXT000034453742&dateTexte=20170422].

2.1 Estimation objective: toute méthode permettant d'estimer l'ordre de grandeur des niveaux en polluants selon des objectifs de qualité des données définis dans l'annexe 5, en un point ou sur une aire géographique, sans nécessairement recourir à des outils mathématiques complexes ou aux équations de la physique ;

2.2 Mesure fixe: mesure effectuée à un endroit fixe, soit en continu, soit par échantillonnage aléatoire réparti uniformément sur l'année, afin de déterminer les niveaux de concentration d'un polluant selon des objectifs de qualité des données définis ;

2.3 Mesure indicative: mesure effectuée à un endroit fixe, soit en continu, soit par échantillonnage aléatoire réparti uniformément sur l'année, afin de déterminer les niveaux de concentration d'un polluant selon des objectifs de qualité des données moins stricts que ceux requis pour la mesure fixe et définis ;

2.4 Modélisation: technique de représentation algorithmique des phénomènes de nature physique, chimique ou biologique, qui permet d'obtenir une information continue sur les niveaux de concentrations ou de dépôts atmosphériques selon des objectifs de qualité des données définis, sur une zone et une période données. Celles-ci peuvent se situer en dehors des points et des périodes où sont réalisées les mesures. Cette technique permet de cartographier les concentrations de polluants et de réaliser des prévisions sur la qualité de l'air à court terme (prévision) et à moyen terme (scénarisation).

BIBLIOGRAPHIE

Documents légaux

Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air ambiant JORF n°0303 du 30 décembre 2016.

Arrêté du 21 octobre 2010 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public (Journal Officiel du 23 octobre 2010 - NOR: DEVE1016117A).

Décision d'exécution de la Commission 2011/850/EU du 12/12/2011 portant modalités d'application des Directives 2004/107/CE et 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil concernant l'échange réciproque d'informations et la déclaration concernant l'évaluation de la qualité de l'air ambiant.

Directive n° 2004/107/CE du 15/12/04 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant. JOUE n° L 23 du 26 janvier 2005.

Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

Directive (UE) 2015/1480 de la Commission du 28 août 2015 modifiant plusieurs annexes des directives du Parlement européen et du Conseil 2004/107/CE et 2008/50/CE établissant les règles concernant les méthodes de référence, la validation des données et l'emplacement des points de prélèvement pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant.

Directive (EU) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques, modifiant la directive 2003/35/CE et abrogeant la directive 2001/81/CE.

SO_2, NO_x, COVNM, NH_3, CO, métaux lourds (Cd, Hg, Pb)

·POP [HAP totaux, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrè

fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, dioxines/furannes, PCB , HCB, PM_{10} $PM_{2,5}$, carbone suie (CS)].

ADEME, ATMO France, LCSQA, *Guide de lecture des directives européennes 2008/50 CE et 2004/107/CE. Surveillance de la qualité de l'air. Données et références*

Guide IPR (2013): *Guidance on the Commission Implementing Decision laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air* (Decision 2011/850/EU). http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/reporting.htm

Rapports officiels et documents divers

Alleman L., Malet B., 2011. *Guide Technique et Méthodologique de l'Analyse de l'As, Cd, Ni et Pb dans l'Air Ambiant et dans les Dépôts Atmosphériques*. Rapport LCSQA, [www.lcsqa.org.].

Banques de données: *Worldwide air quality legislation* [http://airlex.web.ua.pt/searchDataPublic] European Commission, *Working Group on Arsenic, Cadmium And Nickel Compounds. Ambient air pollution by as, cd and ni compounds Position Paper* Final Version, October 2000.

Commission européenne, *Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant*, /* COM/2003/0423 final - COD 2003/0164 */ 2003 [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52003PC0423].

Organisation mondiale de la santé, *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre*. Mise à jour mondiale 2005. Synthèse de l'évaluation des risques.

World Health Organization, *Air quality guidelines for Europe*, deuxième édition. Copenhague, Bureau régional de l'Organisation mondiale de la Santé pour l'Europe, 2000 (Publications régionales de l'OMS, European Series, N° 91).

World Health Organization, *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report,* 2013 [http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1]

Doctrine

Karolina Kuklinska, LidiaWolska· JacekNamiesnik, Air quality policy in the U.S. and the EU – a review, Atmospheric Pollution ResearchVolume 6, Issue 1, January 2015, Pages 129-137 [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104215302592]

Marco Gemmer, XIAO Bo, Air Quality Legislation and Standards in the European Union: Background, Status and Public Participation , ADVANCES IN CLIMATE CHANGE RESEARCH 4(1): 50–59, 2013[https://ac.els-cdn.com/S1674927813500062/1-s2.0-S1674927813500062-main.pdf?_tid=e17eab4d-7914-4eac-86af-beb81f403bce&acdnat=1523463972_9a9ba299bc44dbd87ea2afbd66891774].

Yulia Yamineva | Seita Romppanen, "Is law failing to address air pollution? Reflections on international and EU developments", Review of European, Comparative & International Environmental Law published by John Wiley & Sons Ltd, wileyonlinelibrary.com/journal/reel | 189 [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/reel.12223].

Arbour, J.M., S. Lavallée, J.Sochen et H.Trudeau, *Droit international de l'environnement*, 3ième éd. Éd.Yvon Blais,Cowansville 2016.

Bieber et Maiani, *Précis de droit européen*, Stämpfli Éditions, Berne 2011.

Gautron Jean-Claude, *Droit européen*, Dalloz, Paris 2009.

Clément, Marc, *Droit européen de l'environnement ; jurisprudence* commentée (3e édition), Larcier 2016.

Krämer, Ludwig, *Droit européen de l'environnement,* Schulthess Verlag, Zurich 2011.

Rémy Stroebel « Travaux réglementaires et normatifs européens « Qualité de l'air », état des lieux et perspectives », *Pollution atmosphérique*, N°163, 1999, p. 32-52.

Patrick Thieffry, *Droit de l'environnement de l'Union européenne*, 2ième éd, Bruylant 2011.

9. La France

Introduction

Le *Bilan de la qualité de l'air en France en 2016*[367] établit un rapport global sur l'état de la pollution atmosphérique dans ce pays. Il n'apparaît pas que le nickel, comme les autres métaux lourds, causent de graves problèmes sanitaires[368]. En France comme en beaucoup d'autres pays européens, les principaux polluants qui sont d'intérêt pour la qualité de l'air ambiant sont le dioxyde d'azote (NO_2), l'ozone (O_3) et les particules ($PM_{2,5}$ et PM_{10})

[367] Ministère de la transition écologique et solidaire, Commissariat général au développement durable [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits editoriaux/Publications/Datalab/2017/Datalab-26-bilan-de-la-qualite-de-l-air-en-france-en-2016-oct2017.pdf]. Consulté le 24 mars 2018.

[368] Il semble bien, selon la Commission européenne, que la qualité de l'air en France reste très préoccupante. Pour l'année 2014, l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) « a estimé qu'environ 34 880 décès prématurés étaient imputables aux concentrations en particules fines, environ 1 630 aux concentrations en ozone et environ 9 330 aux concentrations en dioxyde d'azote. En outre, une part substantielle de la population urbaine française aurait été exposée, en 2015, à des concentrations supérieures aux normes de l'Union en matière de qualité de l'air, à savoir 3,1 % pour le dioxyde d'azote (NO2), 1,1 % pour les particules en suspension (PM_{10}) et 18 % pour l'ozone (O_3) .Voir : Parlement européen, Commission des pétitions, 31.1.2018. Communication aux membres. Objet: Pétition nº 0193/2012 présentée par Erick Labrousse, de nationalité française, au nom du «Groupement pour le respect des fuseaux en Europe» sur les seuils visés par la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, ainsi que la protection insuffisante de la santé publique et de l'environnement à cet égard, p.7 [http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=COMPARL&reference=PE-496.612&format=PDF&language=FR&secondRef=06] Consulté le 26 mars 2018.

9.1 Problèmes de pollution de l'air en France

Comme le note un rapport récent de l'OCDE dans son examen de la situation française,[369]« en **d**épit des nombreux plans pour lutter contre la pollution atmosphérique, les seuils de protection de la santé humaine sont régulièrement dépassés dans certaines zones pour l'ozone, le NO_2 et les particules fines (PM_{10}, $PM_{2.5}$) ».

La surveillance de la qualité de l'air ambiant, en France, est obligatoire dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants et porte sur les polluants réglementés par le Code de l'environnement et les directives européennes 2004/107/CE et 2008/50/CE .Ces polluants sont le dioxyde de soufre (SO_2) ; les oxydes d'azote (NOx), dont dioxyde d'azote (NO_2) ; l'ozone (O_3) ; les particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$) ; le monoxyde de carbone (CO) ; le benzène (C_6H_6) ; le plomb (Pb), l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le nickel (Ni), le mercure (Hg) ; les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), principalement et le benzo[a]pyrène (B[a]P).

On se préoccupe surtout des émissions de dioxyde de soufre (SO_2), des oxydes d'azote (NOx), ce qui inclut le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2), des émissions de particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM_{10}) et à 2,5 µm ($PM_{2,5}$), des émissions d'ammoniac (NH_3), du benzène (C_6H_6) et du monoxyde de carbone (CO).On y note que le non-respect des normes de qualité de l'air pour la protection de la santé concerne principalement trois polluants : le NO_2 , les PM_{10} et l'ozone (O_3).Or il appert que les polluants les plus problématiques en Europe sont les PM_{10}, le NO_2 et l'O_3..

Sur les 12 polluants faisant l'objet d'une réglementation, 5 présentent des dépassements des normes de qualité de l'air en 2016. « Pour trois d'entre eux (PM_{10}, Ni et B[a]P), il s'agit de dépassements localisés qui ne concernent à chaque fois que quelques agglomérations[370]. Pour le NO_2 et l'ozone, les dépassements sont plus nombreux et concernent respectivement 16 et 26 agglomérations[371] ». En 2016, les concentrations moyennes annuelles en SO_2, CO, NO_2, particules PM_{10} et $PM_{2,5}$ sont parmi les plus faibles sur la période 2000-2016.

---

[369] OCDE, *Examens environnementaux de l'OCDE. France 2016*, p.24 [https://www.ofme.org/documents/Politiques/2016-rapport-ocde-france-examen-envirt.pdf].

[370] Pour le nickel, voir la section 5.4. Il s'agit d'un cas isolé dans une zone de mesure de la qualité de l'air pour la valeur cible du nickel en PM10 la région de Dunkerque.

[371] Ibid., p.24

En avril 2015, la Commission européenne a adressé un avis motivé aux autorités françaises pour infraction aux articles 13 et 23 de la Directive 2008/50/CE en ce qui concerne les particules grossières (PM_{10}) dans 10 zones de mesure de qualité de l'air. En février 2017, la France a reçu un avis motivé de la part de la Commission européenne relatif aux dépassements des normes de qualité de l'air pour la protection de la santé en NO_2 (combustion de combustibles fossiles) et insuffisance des plans d'action dans 13 zones et agglomérations[372]. Dans une décision[373] en date du 12 juillet 2017, le Conseil d'État, sur plainte des Amis de la Terre France, a ordonné au gouvernement français de prendre toutes les mesures nécessaires pour que soit élaboré et mis en œuvre, pour chacune des zones concernées[374], un plan relatif à la qualité de l'air permettant de ramener les concentrations en dioxyde d'azote et en particules fines PM_{10} sous les valeurs limites fixées par l'article R. 221-1 du *Code de l'environnement* dans le délai le plus court possible et de le transmettre à la Commission européenne avant le 31 mars 2018. En janvier 2018, le Commissaire européen à l'environnement a convoqué la France, ainsi que d'autres États, afin d'étudier les mesures qu'elle envisage de prendre pour réduire la pollution de l'air résultant du dépassement des valeurs limites pour le dioxyde d'azote (NO_2) et les particules (PM_{10}), qui devaient être respectées depuis 2010 et 2005 respectivement.

9.2 Moyenne annuelle des concentrations de nickel en Europe en 2015

Si la littérature ignore généralement la Directive 2004/107/CE du 15/12/04 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant, c'est probablement parce que les polluants qu'elle vise ne soulèvent pas les problèmes aussi graves causés par d'autres substances comme les PM_{10}, le dioxyde d'azote ou l'ozone. La carte ci-dessous, réalisée par l'Agence européenne de l'environnement, confirme ces données : les concentrations se maintiennent dans l'ensemble sous les 5 ng en Europe et ce n'est

---

[372] Ces zones et agglomérations sont : Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, Marseille, Montpellier, Nice, Paris, Reims, Saint-Étienne, Strasbourg, Toulon, Toulouse et la Vallée de l'Arve.

[373] Conseil d'État, décision en date du 12 juillet 2017, n°394254. Association des Amis de la Terre, France [http://www.conseil-etat.fr/Decisions-Avis-Publications/Decisions/Selection-des-decisions-faisant-l-objet-d-une-communication-particuliere/CE-12-juillet-2017-Association-Les-Amis-de-la-Terre-France].

[374]- Les valeurs limites en dioxyde d'azote rappelées ont été dépassées chaque année de 2012 à 2014 dans seize zones administratives de surveillance de la qualité de l'air (ZUR Rhône-Alpes, Paris Ile-de-France, Marseille Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Toulon Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Nice Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Rouen Haute-Normandie, Saint-Etienne Rhône-Alpes, Grenoble Rhône-Alpes, Lyon Rhône-Alpes, Strasbourg Alsace, Montpellier Languedoc-Roussillon, Rennes Bretagne, ZUR Champagne-Ardenne, Nancy Lorraine, Metz Lorraine et Toulouse Midi-Pyrénées) . Pour ces mêmes années, les valeurs limites en

qu'en quelques endroits où l'on connaît des dépassements ou des valeurs entre 10 et 20 ng[375]. Pour les autres sites de mesure[376], « 3 ont une concentration comprise entre 11 et 20 ng/m^3, 43 % des sites une teneur comprise entre 1,1 et 10 ng/m^3 et 48 % des sites une teneur inférieure ou égale à 1 ng/m^3 ».

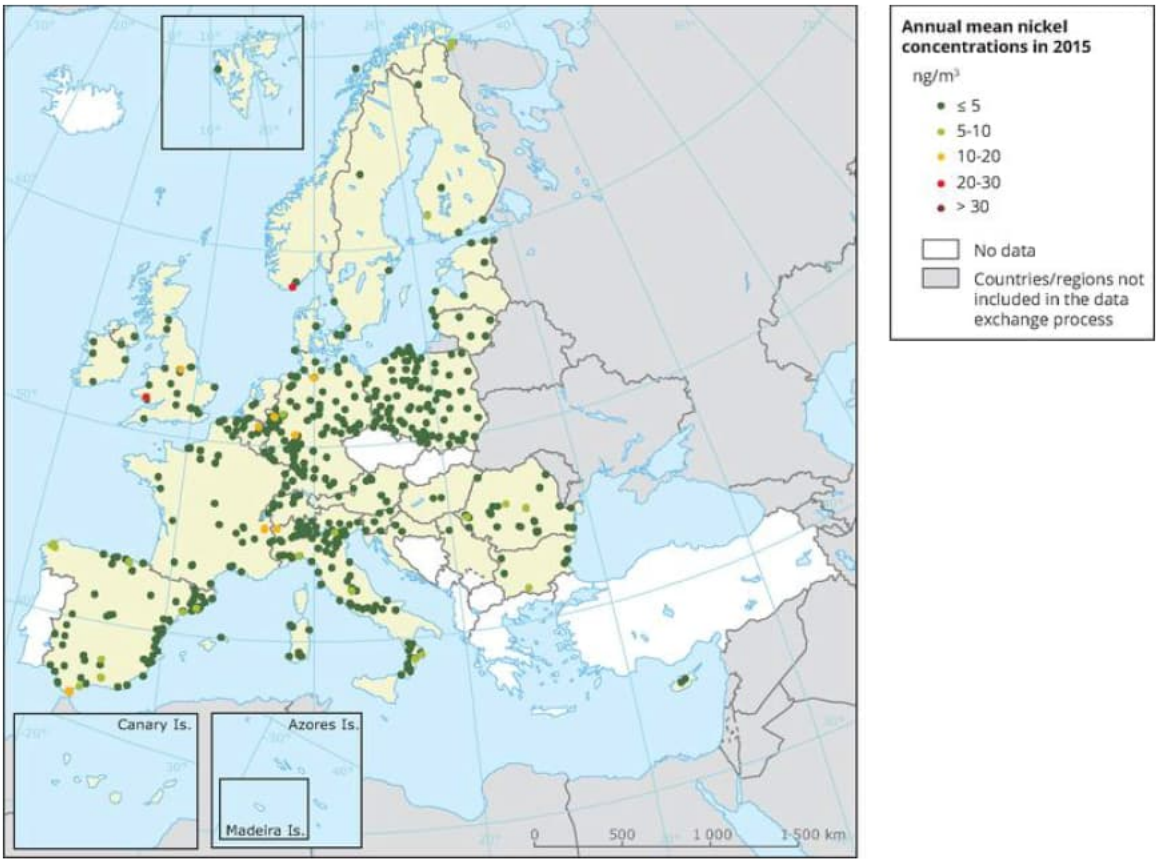
Moyenne annuelle des concentrations de nickel en Europe pour l'année 2015

---

particules fines PM_{10} ont été dépassées dans trois zones (ZUR Rhône-Alpes, Paris Ile-de-France et ZUR Martinique).

[375] Sauf dans un endroit précis en Norvège et au Royaume-Uni.Voir : EEA, *Air Quality in Europe 2017,* Report No 13/2017, (Annual mean nickel. Observed concentrations of nickel in 2015). [https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017/].

[376] *Id.*



Source : EEA, *Air Quality in Europe 2017,* Report No 13/2017, (Rubrique: Annual mean nickel. Observed concentrations of nickel in 2015). https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017/

9.3 L'évolution des émissions et des concentrations de nickel en France

Les métaux lourds qui sont surveillés en France sont émis principalement par les activités de raffinage, de métallurgie, de transformation d'énergie et par l'incinération des déchets[377].

9.3.1 Les émissions

Le *Rapport national d'inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France*, qui est réalisé par le Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) [378] nous dresse un portrait global des émissions de nickel en France métropolitaine. On note ici les faits les plus significatifs émanant de ce rapport[379]. Les

[377] Voir plus bas, section 5.4
[378] *Rapport national d'inventaire Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France* – Séries sectorielles et analyses étendues Avril 2015. [https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-25248-secten-ges.pdf].Consulté le 23 mars 2018.
[379] *Ibid.* p.65.

émissions de nickel en France proviennent de sources suivantes : la combustion du fioul lourd (qui contient des traces de ce métal) par les industries manufacturières, les installations sidérurgiques, la production d'électricité, le chauffage urbain et le transport routier dont les émissions sont « induites par la combustion des carburants et d'une partie de l'huile dans les moteurs ainsi que par l'abrasion des routes et l'usure des freins ». Le Rapport fait état d'une forte baisse des émissions de nickel au cours de la période 1990-2013, en raison notamment de la réduction de la consommation du fioul lourd dans les industries manufacturières, dans le raffinage du pétrole et la production d'électricité.

L'inventaire du CITEPA[380], mis à jour en juin 2017, confirme les données précédentes. Le niveau des émissions de nickel (Ni) en 2015 est le plus bas observé sur l'ensemble de la période 1990-2015; la baisse des émissions de nickel est de 86,3% (308 t. en 1991 contre 40 t. en 2015).

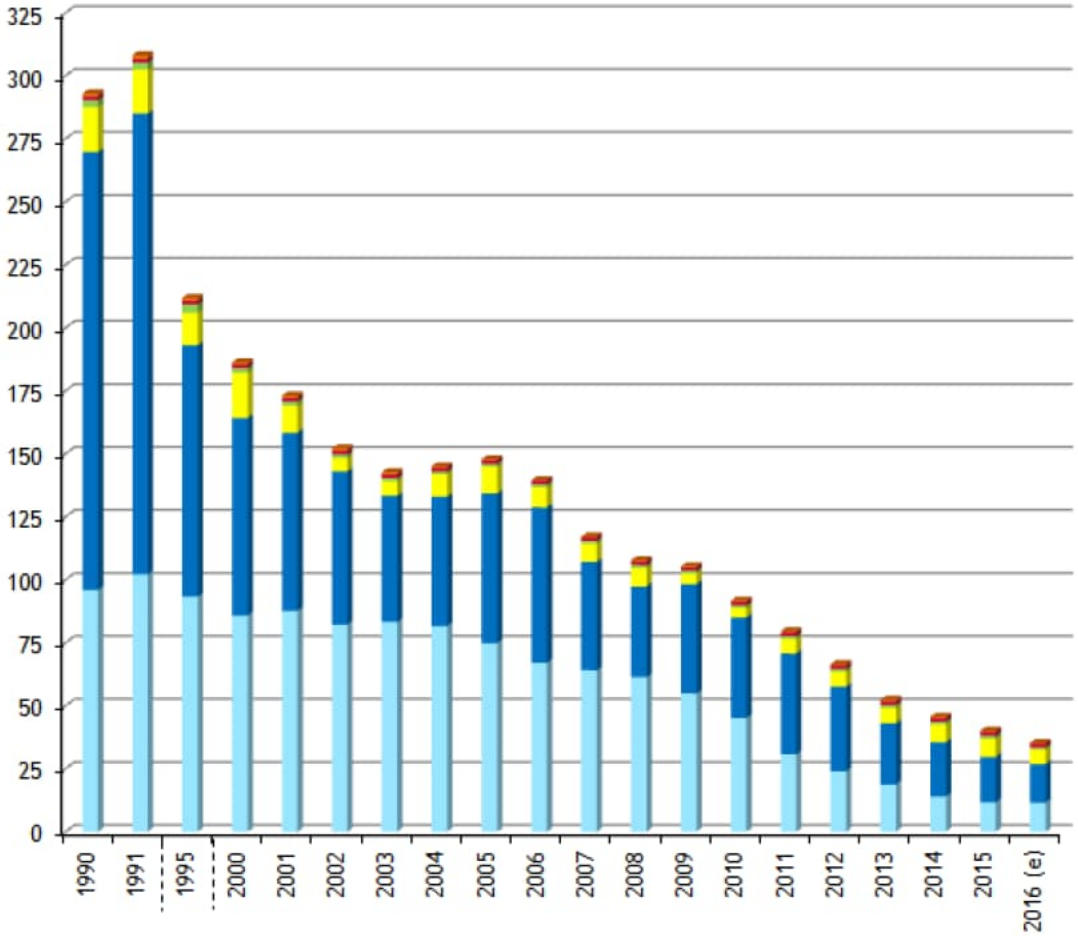
Le tableau ci-dessous illustre cette évolution des émissions de Ni en France.

---

[380] **Source des données:** CITEPA / Format SECTEN - avril 2017 [https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/metaux-lourds/nickel]. Consulté le 23 mars 2018].

Ni

Emissions atmosphériques par secteur en France métropolitaine
en t



(e) estimation préliminaire

Source : CITEPA, Inventaire SECTEN, avril 2017 [https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/metaux-lourds/nickel].

Classement des sous-secteurs* les plus émetteurs en 2015 (Nickel)

Classement	Sous-secteur	Part du sous-secteur dans les émissions nationales de la France métropolitaine
1	Raffinage de pétrole	18%
2	Tertiaire	15%
3	Métallurgie des métaux ferreux	14%
4	Chimie	13%
5	Chauffage urbain	5,2%
6	Production d'électricité	5,2%
7	Papier, carton	5,1%

* : un secteur (au nombre de six au total : transformation de l'énergie, industrie manufacturière, résidentiel/tertiaire, agriculture/sylviculture, transport routier ou autres transports) est désagrégé

en différents sous-secteurs. **Source des données:** CITEPA / Format SECTEN - avril 2017 [https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/metaux-lourds/nickel]. Consulté le 23 mars 2018.

9.3.2 Les concentrations

Sur un plan général[381], et pour la période 2000-2013, la baisse des émissions de certains polluants s'accompagne d'une baisse globale des concentrations moyennes annuelles observées : c'est le cas du SO_2 et de la plupart des métaux lourds, qui respectent les valeurs limites (plomb) ou les valeurs cibles (arsenic et nickel).

Selon un Rapport du Commissariat général au développement durable du Ministère de la transition écologique et solidaire[382], le suivi de l'As, du Cd et du Ni est réalisé sur une quarantaine de sites en 2016. Pour le nickel, « un seul point de mesure situé à proximité d'industries dans le Pas-de-Calais enregistre une concentration de 29 ng/m^3 », supérieure à la valeur cible de $20ng/m^3$. Pour le reste, 3 sites ont des concentrations entre 11 et $20ng/m^3$, 43 % des sites une teneur comprise entre 1,1 et 10 ng/m^3 et 48 % des sites une teneur inférieure ou égale à 1 ng/m^3.

9.4 Définition de la norme

Comme nous l'avons vu, la Directive 2004/107/CE du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant fixe des normes pour l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni) pour la protection de la santé à long terme. Pour l'essentiel, elle commande une évaluation des niveaux des métaux lourds (et des HAP) sur l'ensemble du territoire des États membres afin d'estimer les zones les plus problématiques.

Si nous comprenons bien l'objectif essentiel de cette Directive, chaque État membre de l'UE doit procéder à une évaluation préliminaire de l'état de l'environnement qui prendra la forme de campagnes de mesure à des endroits potentiellement soumis à des concentrations importantes de métaux lourds. Par la suite, les résultats de ces évaluations constitueront la base

---

[381] Voir : Cour des comptes *Les politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air* : Rapport. déc. 2015, p.20 [https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/20160121-rapport-politiques-publiques-lutte-contre-pollution-air.pdf].

[382] *Observations et statistiques, La pollution de l'air par les métaux lourds*, [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/227/0/pollution-lair-metaux-lourds.html]. Consulté le 24 mars 2018..

scientifique pour définir des stratégies de surveillance de la qualité de l'air en ayant recours à différentes méthodes d'évaluation: établissement de mesures fixes ou temporaires, modélisation ou simple estimation objective. La Directive 2004/107/CE a établi la norme nickel en termes de moyenne annuelle, soit 20ng/m3.

Cette Directive européenne a été transposée en droit français par le Décret n° 2008-1152 du 7 novembre 2008 relatif à la qualité de l'air, ainsi que par le Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air. L'*Arrêté ministériel du 19 avril **2017** relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant* reprend l'intégralité des exigences européennes traduites en droit français et le détail des missions confiées aux Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). On trouve cette transposition dans le droit français actuel à l'article R.221-1du *Code de l'environnement,* telle qu'elle apparaît dans le tableau ci-bas :

Valeurs cibles applicables à compter du 31 décembre 2012 :

POLLUANT	ARSENIC	CADMIUM	NICKEL	BENZO(A)PYRÈNE
Valeur cible[1]	6 ng/m³	5 ng/m³	20 ng/m³	1 ng/m³
. (1) Moyenne, calculée sur une année civile, du contenu total de la fraction "PM10". Le volume d'échantillonnage est mesuré dans les conditions ambiantes.				

Source : Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air, JORF n°0247 du 23 octobre 2010 page 19011

Tel qu'en fait foi l'art. 221 du *Code de l'environnement* de France, la norme nickel a été définie par décret du Conseil d'État, après avis de l'Agence nationale chargée de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, en conformité avec la norme établie par l'Union européenne.

Il s'agit d'une moyenne, calculée sur une année civile, du contenu total de la fraction PM_{10}. Selon la Directive 2004/107/CE, cette fraction PM_{10} est constituée de « particules qui passent dans un orifice d'entrée calibré tel que défini dans la norme NF EN 12341[383] de matière

[383] Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP_{10} ou $MP_{2,5}$.

particulaire en suspension avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 10 um ».

9.4.1 Une valeur cible et non une valeur limite

Cette norme de 20 ng/m3 est une valeur cible et non une valeur limite : alors que la valeur cible en est une à atteindre, *dans la mesure du possible*, sur une période donnée, la valeur limite en est une à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint. La nuance est subtile mais importante, parce qu'elle fonde toute la distinction entre une obligation de résultat (valeur limite) et une obligation de moyen (valeur cible).

Contrairement à d'autres polluants comme le plomb, le cadmium et le mercure dont les émissions anthropiques annuelles doivent être limitées et ramenées à un niveau inférieur à 1990, il n'y pas d'objectif précis de réduction des émissions de nickel[384]. Ceci est aussi vrai pour d'autres métaux comme le chrome, le cuivre ou le zinc. À notre avis, une partie de la réponse à cette situation se trouve dans le fait que le nickel ne pose pas de problèmes particuliers en France[385], voir même en Europe, parce qu'il n'est pas visé par le Protocole d'Aarhus (1998). *A contrario*, on pourrait argumenter que, puisque le nickel ne pose pas de problématique spéciale, il n'y aurait aucun problème à lui définir une valeur limite stricte et obligatoire.

Nous rappellerons ici ce que nous avons déjà souligné au sujet de la distinction entre valeur limite et valeur cible[386]. La Directive 2004/107/CE ne définit pas de «valeurs limites» obligatoires pour les métaux lourds, mais bien des valeurs cibles. Il semble que la France était opposée à l'idée de valeurs limites obligatoires puisque, selon elle, et « dans l'état des technologies actuelles, il ne paraissait pas possible d'atteindre les valeurs limites envisagées[387].

---

[384] Voir : CITEPA, La France face à ses objectifs, Synthèse des objectifs de la France relatifs à la pollution atmosphérique à longue distance, Février 2017 [https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/la-france-face-a-ses-objectifs]. Consulté le 19 mars 2018.

[385] Pour l'Europe, les polluants les plus problématiques sont les PM_{10}, le NO_2 et l'O_3 . (Commissariat général au développement durable, *Bilan de la qualité de l'air en France, 2016,* octobre 2017, p.19. [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2017/Datalab-26-bilan-de-la-qualite-de-l-air-en-france-en-2016-oct2017.pdf]. Consulté le 24 mas 2018.

[386] Voir section 2.2.2.1, note 34, du chapitre XXX sur la norme internationale et européenne.

[387] Assemblée nationale française, Document E2350 (Mise à jour : 12 décembre 2009). Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel, et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.[http://www.assemblee-nationale.fr/europe/dossiers e/e2350.asp]. Consulté le 12 mars 2018.Voir aussi : Cour des Comptes, *Les politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air Enquête demandée par le Comité d'évaluation et de contrôle des politiques publiques de l'Assemblée nationale,* Décembre 2015, p.15. Le Rapport estime que la non-atteinte des valeurs cibles établies pour le plomb,

On conclut donc que le dépassement de la valeur cible pour le nickel ne peut être susceptible de sanction devant les autorités administratives européennes et que cette valeur, définie par l'Union Européenne, n'ouvre pas de contentieux si elle est dépassée.

9.4.1.1 Une obligation de résultat pour la valeur limite : la décision du Conseil d'État du 12 juillet 2017

Dans une décision en date du 12 juillet 2017, n°394254[388], et suivant en cela la décision rendue par la Cour de justice de l'Union européenne (CJUE) dans l'arrêt *Client Earth* du 19 novembre 2014, C-404/13, le Conseil d'État français a rappelé qu'aux termes de la *Directive n°2008/50/CE de l'UE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe* (transposée notamment à l'article L. 221-1 et R 221-1 du Code de l'environnement), les États membres doivent veiller à ce que les niveaux de certains polluants ne dépassent pas des «valeurs limites» qui ont été définies et que si ces limites sont dépassées, l'État membre est alors tenu d'élaborer un plan de protection de l'atmosphère, à l'échelle d'une zone ou d'une agglomération donnée, de manière à revenir en dessous du seuil réglementaire. Dans cette affaire qui concerne le dépassement des seuils de concentrations des particules fines (PM_{10}) et de dioxyde d'azote entre 2012 et 2015, le Conseil d'État a jugé que la France n'est pas seulement tenue d'établir des plans relatifs à la qualité de l'air, mais qu'elle est aussi tenue d'élaborer des plans qui doivent permettre de revenir en-dessous des seuils dans un délai le plus bref possible, confirmant ainsi l'obligation de résultat qui est en jeu quand il s'agit de valeur limite.

La Directive 2008/50/CE, qui est au centre des débats dans cette affaire, vise l'évaluation de la qualité de l'air ambiant en ce qui concerne l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules, le plomb, le benzène et le monoxyde de carbone et l'ozone et non pas le nickel. Son article 13, qui établit les valeurs limites et les seuils d'alerte pour la protection de la santé humaine, stipule clairement que les États membres « veillent à ce que, dans l'ensemble de leurs zones et agglomérations, les niveaux d'anhydride sulfureux, de PM_{10}, de plomb et de monoxyde de carbone dans l'air ambiant ne dépassent pas les valeurs limites fixées à

---

l'arsenic, le nickel, le cadmium, le benzo(a)pyrène, l'ozone et les particules PM2,5 « **n'est pas sanctionnable** ».[https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/20160121-rapport-politiques-publiques-lutte-contre-pollution-air.pdf]. Consulté le 13 mars 2018.

[388] Association des Amis de la Terre, France. [http://www.conseil-etat.fr/Decisions-Avis-Publications/Decisions/Selection-des-decisions-faisant-l-objet-d-une-communication-particuliere/CE-12-juillet-2017-Association-Les-Amis-de-la-Terre-France]. Consulté le 25 mars 2018.

l'annexe XI » et qu'en ce qui concerne le dioxyde d'azote et le benzène, « les valeurs limites indiquées à l'annexe XI ne peuvent pas être dépassées à partir des dates indiquées à ladite annexe ». Or la Directive 2004/107/CE, qui vise le nickel, est formulée d'une manière très différente : quand son art. 3 déclare que les États « prennent toutes les mesures nécessaires qui n'entraînent pas de coûts disproportionnés » pour veiller à ce que les concentrations de nickel et autres métaux ne dépassent pas les valeurs cibles fixées et qu'en cas de dépassement de ces valeurs, ils doivent démontrer « qu'ils appliquent toutes les mesures nécessaires n'entraînant pas de coûts disproportionnés », on ne saurait être trop catégorique sur la nature strictement obligatoire de la valeur cible.

Une lecture attentive de l'arrêt du Conseil d'État du 12 juillet 2017 nous indique que la décision n'opère aucune distinction entre valeur limite et valeur cible. Puisque le Conseil d'État n'avait pas à le faire, il ne s'est livré à aucune analyse de cette distinction pourtant capitale, puisque les directives européennes prennent grand soin de bien définir chacune de ces deux valeurs. Il n'est pas certain que le Conseil d'État arriverait à la même conclusion s'il avait à statuer sur la base de la Directive 2004/107/CE. Un Rapport de la Cour des Comptes[389] estime que la non-atteinte des valeurs cibles établies pour le plomb, l'arsenic, le nickel, le cadmium, le benzo(a)pyrène, l'ozone et les particules PM 2,5 « **n'est pas sanctionnable** ».

9.5 Portée de la norme nickel de la Directive 2004/107/CE: une obligation de moyen, sans valeur contraignante

Dans le cadre de la Directive 2004/107/CE[390], la valeur cible apparaît comme une valeur réglementaire non contraignante, même si des enjeux de santé sont en cause. En cas de dépassement de cette valeur, l'État concerné doit toutefois prendre des moyens efficaces pour ramener les concentrations en dessous des seuils de la valeur cible; selon les termes mêmes de la Directive 2004/107/CE, l'État devrait «prendre toutes les mesures de réduction économique dans les secteurs concernés » sans toutefois entraîner des coûts disproportionnés, ni « la fermeture d'installations ». En cas d'impossibilité, il ne peut y avoir de sanction. Il s'agit donc d'une

[389] Cour des Comptes, *Les politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air Enquête demandée par le Comité d'évaluation et de contrôle des politiques publiques de l'Assemblée nationale,* Décembre 2015, p.15. [https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/20160121-rapport-politiques-publiques-lutte-contre-pollution-air.pdf]. Consulté le 13 mars 2018.

simple obligation de moyen et non de résultat et ce n'est que sur preuve d'un défaut d'avoir pris les moyens appropriés qu'on pourrait parler d'une « faute » de l'État. Une analyse d'Air Parif, présentée dans le tableau ci-dessous, confirme notre conclusion : on essaye d'atteindre la valeur cible avant le 31 décembre 2012, *si possible.*

Valeurs réglementaires définies dans l'air ambiant d'après la Directive 2004/107/CE du 15 décembre 2004

Polluant	Valeur cible à atteindre, **si possible**, au 31 décembre 2012
Arsenic	6ng/m^3
Cadmium	5ng/m^3
Nickel	20ng/m_3

Source : Air Parif, *Surveillance des métaux dans l'air ambiant*, Juin 2008, p.30 [https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/Rapmontereau_biblio.pdf].

9.6 L'application de la norme

Conformément aux termes de notre mandat, il faut analyser maintenant la manière avec laquelle cette norme est appliquée dans la pratique administrative française, en tenant compte notamment des mesures de mitigation obligatoires, des mesures appliquées lors de dépassement des normes, des règles de bonnes pratiques, des exigences de modélisation et de suivi, de la distinction entre les nouvelles sources d'émission et les sources existantes, de la prise en compte de la proximité de la population et de l'endroit où le respect de la norme est exigé (limite de propriété, récepteurs sensibles).

Deux arrêtés ministériels sont importants pour situer le droit français sur ce chapitre : il s'agit de **l'***Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air ambiant*[391] et de *l'Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant*[392].

---

[390] Directive 2004/107/CE, Considérants nos 5 et 6, art.2a, art. 3.3, art.5.1

[391] JORF n°0303 du 30 décembre 2016 texte no 27 [https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033735017&dateTexte=&categorieLien=id].

[392] JORF n°0095 du 22 avril 2017, texte n° 10.[https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/4/19/DEVR1710772A/jo/texte].

Sur papier à toute le moins, la France a créé un système de surveillance de l'air qui est à la fois sophistiqué et complexe, centralisé et décentralisé. Au niveau national, les inventaires d'émissions de polluants sont coordonnés et réalisés par le Centre interprofessionnel technique de la pollution atmosphérique (CITEPA) qui analyse de près les émissions d'une trentaine de substances polluantes, dont le nickel. Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), qui est le garant scientifique de l'évaluation de la qualité de l'air en France, publie des informations techniques nombreuses relatives à l'évaluation et à la gestion de la qualité de l'air, élabore et met à jour des guides méthodologiques ou avis techniques sur la partie métrologique et la modélisation. Des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA), implantées dans chaque région, ont pour mission de produire des données de mesure de la qualité de l'air, puis d'informer le public sur la qualité de l'*air ambiant*.

9.6.1 Survol général de la surveillance de la qualité de l'air

La France compte sur un réseau de plus de 600 stations de mesure pour évaluer l'air ambiant[393]; au niveau régional, les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) établissent également des inventaires régionaux d'émissions.

L'organisme chargé de la coordination technique de la surveillance de la qualité de l'air est le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), une sorte de partenariat scientifique entre l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (*INERIS*), le Laboratoire National de métrologie et d'Essais (*LNE*) et l'École Nationale Supérieure Mines-Telecom Lille Douai (IMT Lille Douai). Sa mission est définie par l'Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant[394]. Il doit notamment : garantir l'exactitude et la qualité des données d'évaluation de la qualité de l'air en application des directives européennes et des protocoles de la Convention CPATLD; élaborer puis mettre à jour le référentiel technique national et vérifier son application par les associations

[393] Près de 630 en 2016.Voir : Ministère de la transition écologique et solidaire, Commissariat général au Développement durable. « Le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France ».[http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/227/1101/dispositif-surveillance-qualite-lair-france.html]. Consulté le 18 mars 2018.

[394] JORF n°0095 du 22 avril 2017 [https://www.legifrance .gouv.fr/eli/arrete/2017/4/19/DEVR1710772A/jo/texte].Consulté le 16 mars 2018.

agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) ; procéder au rapportage de données sur la qualité de l'air auprès de la Commission européenne dans les délais fixés; mettre à la disposition du public, en complément de la mise à disposition des données par les AASQA, les données de mesure sur la qualité de l'air pour les polluants réglementés et pour les polluants d'intérêt national, avec les métadonnées associées ; contribuer à l'amélioration des connaissances scientifiques et techniques sur la qualité de l'air.

9.6.2 Rôle des AASQA

Il existe 18 AASQA en France, une pour chaque région ainsi distinguée[395]. Chaque AASQA est composée des représentants de l'État, des collectivités locales, des industries polluantes et d'experts.

Les ASSQA opèrent dans le cadre de la *Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Laure) du 30 décembre 1996*. Elles ont la mission de surveiller et d'évaluer la qualité de l'air ambiant pour les polluants réglementés (oxydes d'azote, dioxyde de soufre, monoxyde de carbone, benzène, ozone, particules PM_{10} et $PM_{2.5}$, benzo(a)pyrène et quatre métaux lourds particulaires (nickel, plomb, cadmium et arsenic); d'informer quotidiennement les préfets et le public sur la qualité de l'air observée et prévisible, en cas d'épisode de pollution atmosphérique; de les alerter en cas d'identification d'un épisode de pollution atmosphérique pouvant être consécutif à un incident ou accident technologique ;de réaliser un inventaire régional spatialisé des émissions primaires de certains polluants atmosphériques. Elles doivent principalement élaborer un programme régional de surveillance de la qualité de l'air (PRSQA) qui définit la stratégie et les modalités de mise en œuvre de ses missions.

9.7 Le découpage du territoire en zones de surveillance de l'air

Dans chaque ASSQA, le territoire est découpé en zones administratives de surveillance pour les polluants réglementés, dont le nickel. En Nord - Pas-de-Calais par exemple, 4 zones administratives de surveillance (ZAS) ont été définies. Quand on cherche la logique qui justifie ce découpage, on peut probablement estimer que c'est pour le besoin de réalisation de grilles

[395] Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air, JORF n°0303 du 30 décembre 2016,

territoriales de dimensions convenues[396] et de pouvoir identifier des zones dont les problématiques de qualité de l'air sont relativement homogènes. La Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe prend bien soin de souligner que l'évaluation de la qualité de l'air ambiant doit tenir compte « de la taille des populations et des écosystèmes exposés à la pollution atmosphérique » et qu'il convient, dès lors, « de délimiter, sur le territoire de chaque État membre, des zones ou des agglomérations tenant compte de la densité de population[397] ».

C'est l'*Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air ambiant* qui définit le zonage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air ambiant, leur superficie, leur population, ainsi que la liste des communes composant ces zones. Ces dernières sont délimitées en tenant compte des niveaux de polluants, des populations exposées, des sources d'émissions et des conditions météorologiques qui prévalent dans ces zones. Les zones administratives de surveillance sont classées en trois catégories:

1 Les « zones à risques –agglomération » (ZAG) qui comportent une agglomération[398] de plus de 250,000 habitants (ZAG Paris, ZAG Rouen, ZAG Marseille-Aix);

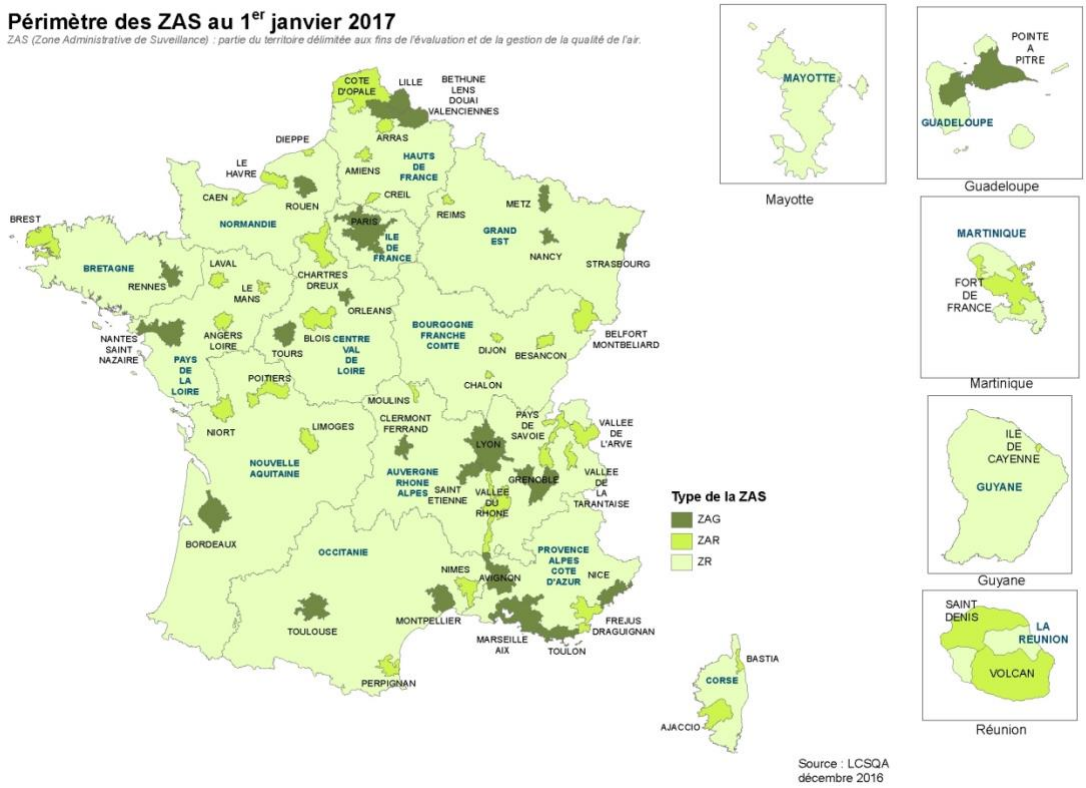
2 Les « zones à risques - hors agglomération » (ZR) de moins de 250,000 habitants et dans lesquelles les normes de qualité de l'air ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être; 3- la « zone régionale » (ZR) qui s'étend sur le reste du territoire de la région. La Bretagne exemple, est divisée en trois zones, soit la ZAG Rennes, la ZAR Brest et la ZR Bretagne. La carte ci-dessous illustre ce découpage administratif pour les fins de la surveillance de l'air ambiant.

[https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033735017&dateTexte=&categorieLien=id].

[396] C'est du moins ce que laisse entendre la Convention de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontière, art.8, alinéa a).

[397] Considérant no 5.

[398] Le terme est défini par la Directive 2008/50/CE et l'Arrêté du 21 octobre 2010) : unité urbaine de plus de 250 000 habitants. Pour la liste officielle des agglomérations, voir : [http://www.developpement-durable.gouv.fr/Listes-et-cartes-des.html]



Dans chaque zone administrative de surveillance, l'AASQA assure la surveillance et la prévision de la qualité de l'air pour les polluants atmosphériques réglementés dont la surveillance est obligatoire en application des directives 2004/107/CE et 2008/50/CE.

La surveillance est effectuée à l'aide de mesures fixes, de campagnes de mesures, de mesures indicatives, de modélisation ou d'estimation objective, conformément aux prescriptions techniques établies. L'AASQA procède à l'implantation de points de prélèvements ou d'échantillonnage sur son territoire et qui sont rattachées à des stations de mesure[399].

9.8 Le déclenchement de la surveillance : seuils inférieurs et supérieurs

En France, il semble bien que le concept de la surveillance de l'air soit synonyme d'évaluation de l'air et renvoie à « toute méthode utilisée pour mesurer, calculer, prévoir ou estimer le niveau d'un polluant dans l'air ambiant[400] ». Comme nous l'avons vu dans un chapitre

[399] Voir : LCSQA *Guide méthodologique. Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air*. Février 2017[

[400] Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air, *Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air,* Avril 2015, p.10.

précédent, il existe quatre méthodes d'évaluation qui sont fonction des objectifs de qualité poursuivis : les mesures fixes, les mesures indicatives, la modélisation et l'estimation objective.

9.8.1 Généralités

Le choix des méthodes de surveillance (modélisation seule, modélisation et mesure, mesure indicative) dépend des résultats des évaluations préliminaires qui vont permettre de classifier une zone de surveillance particulière par rapport aux seuils d'évaluation. Les modalités de surveillance sont adaptées aux besoins de chaque zone, notamment ceux des agglomérations de plus de 100 000 habitants[401]. Pour rappel et sur la base de la Directive 2004/107/CE, le seuil d'évaluation minimal correspond au niveau en dessous duquel il est permis de se limiter à des techniques de modélisation ou d'estimation objective, alors que le seuil d'évaluation maximal correspond au niveau en dessous duquel une combinaison de mesures et de techniques de modélisation est requise. On conclut que si les concentrations du nickel sont inférieures au seuil d'évaluation minimum dans une zone de surveillance spécifique, il n'y a pas d'obligation de mesurer l'air ambiant au moyen de stations fixes[402]. Au-delà du seuil supérieur, il est obligatoire de procéder à des mesures fixes. Les modalités et les techniques de surveillance de l'air ambiant sont donc définies en fonction de l'importance des populations concernées et des niveaux de concentration des polluants concernés.(R 221-1).

9.8.2 Seuil pour le nickel

Les seuils d'évaluation inférieurs ou minimaux et supérieurs ou maximaux, exprimés en pourcentage de l'objectif environnemental considéré défini à l'article R. 221-1 du *Code de l'environnement* (20ng) pour déterminer le régime de surveillance du nickel, sont les suivants :

Seuil d'évaluation supérieur : 70% 14ng/m_3

Seuil d'évaluation inférieur : 50% 10ng/m_3

Afin de définir le régime de surveillance du nickel dans les zones administratives de surveillance, l'annexe 2 de l'*Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant* établit que l'évaluation préliminaire se réalise par l'emploi de

[401] Code de l'environnement, art. L.221-2

mesures fixes avec la possibilité de les combiner avec de la modélisation ou de la mesure indicative si les concentrations sont supérieures au seuil d'évaluation supérieur ou par modélisation ou des techniques d'estimation objective si les concentrations sont inférieures au seuil d'évaluation inférieur. La détermination des points de prélèvement est étroitement réglementée tant en ce qui concerne leur nombre minimal qu'en ce qui concerne leur lieu de fixation.

9.8.3 Points de prélèvement et prélèvements

Le nombre de points de prélèvement est déterminé en fonction du niveau des concentrations des polluants par rapport aux seuils d'évaluation et de l'importance de la population de l'agglomération ou de la zone[403]. Les stratégies de surveillance de l'air ambiant pour les métaux lourds, qui découlent de la mise en oeuvre de la Directive 2004/107/CE, priorisent les mesures là où les teneurs en concentration sont les plus élevées et là où la population est susceptible d'être exposée à ces polluants. Il ressort des *Recommandations concernant la stratégie de mesure (évaluation préliminaire et surveillance) des métaux lourds (As, Cd, Ni, Pb) et HAP (BaP principalement) dans l'air ambiant*[404] que la priorité des mesures se fait selon les quatre (4) types de sites suivants : environnement de sources ponctuelles fixes; agglomérations de plus de 250,000h.; villes de 100,000h.; mesures rurales. À l'endroit des sources ponctuelles fixes hors des zones urbaines, il est établi que les critères qui doivent être retenus pour la détermination du nombre de points de prélèvement sont la densité des émissions, les schémas de répartition de la pollution et l'exposition potentielle de la population. Dans les zones urbaines, il est recommandé d'implanter un point de prélèvement par agglomération de plus de 250,000h, soit 24 pour toute la France. Si des installations polluantes se trouvent insérées dans le tissu urbain, on procède également à l'installation de points de prélèvement dans l'environnement de ces installations. La mesure des métaux en sites ruraux se fait par l'implantation d'un point de prélèvement pas 100,000km^2, soit 6 pour toute la France. Pour

---

[402] Air Parif, *Surveillance des métaux dans l'air ambiant*, Juin 2008, p.9 [https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/Rapmontereau_biblio.pdf].

[403] Voir l'Annexe 4 de l'Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant, JORF n°0095 du 22 avril 2017 texte n° 10 [https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/4/19/DEVR1710772A/jo/texte]. Consulté le 19 mars 2018.

[404] LCSQA, 2008 [http://www.lcsqa.org/rapport/2008/ademe/recommandations-concernant-strategie-surveillance-evaluation-preliminaire-surveil]. Consulté le 18 mars 2018.

l'année 2011, les AASQA ont à leur disposition environ 1900 instruments automatiques en sites fixes, répartis sur environ 670 stations de mesure[405].

Il existe, dans la pratique européenne et française[406], une sorte de typologie des sites de surveillance permanents de la qualité de l'air et qui est fondée sur deux critères, soit l'environnement d'implantation (urbain, périurbain ou rural) et l'influence subie par la station (mesure de fond, trafic routier, industrie). On peut en effet distinguer des stations de proximité automobile près des grands axes routiers, des stations de proximité industrielle, des stations urbaines, des stations périurbaines, des stations rurales régionales et des stations d'observation. Alors que les deux premières permettent de mesure le niveau maximal d'exposition des populations vivant à proximité des sources polluantes, la station régionale va mesurer le « bruit de fond » et la station urbaine le niveau d'exposition moyen des populations vivant dans les grands centres.

Le *Guide technique et méthodologique de l'analyse de l'As, Cd, Ni et Pb dans l'air ambiant et dans les dépôts atmosphériques*[407] fait la description détaillée du matériel (préleveur, filtre, stockage des filtres, sens de filtration à respecter, manipulation des filtres) et de la procédure de prélèvement des PM_{10}. Il décrit aussi, à l'intention des laboratoires, la procédure à suivre pour l'analyse des As, Cd, Ni et Pb dans les PM_{10}. Tout semble prévu, depuis les méthodes de prélèvement du nickel (et du plomb, du cadmium et de l'arsenic) et du contenu dans la fraction MP_{10} de l'aérosol, jusqu'au traitement des données issues des mesures; les analyses doivent être réalisées « par spectrométrie de masse par couplage à plasma induit (ICPMS) ou par spectrométrie d'absorption atomique en four graphite (GFAAS) selon la procédure associée à chaque type d'appareil/constructeurs[408] ». On y traite également du calcul des marges d'incertitude reliées à la quantification des concentrations; il est précisé que l'incertitude ne doit

[405] Bouvier F., « Le dispositif français de surveillance de la qualité de l'air », Pollution atmosphérique, no spécial, Novembre 2012, p.35.

[406] Voir : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Nord-Pas-de Calais/Préfet de la région Nord -Pas-de-Calais, *Plan de protection de l'atmosphère. Plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air, 2014*.p.78. [https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ppa-dreal_14_avril_2014.pdf].Consulté le 27 mars 2018.

[407] LCSQA (Laurent Alleman) , novembre 2011.[http://docplayer.fr/60120257-Guide-technique-et-methodologique-de-l-analyse-de-l-as-cd-ni-et-pb-dans-l-air-ambiant-et-dans-les-depots-atmospheriques.html]. Consulté le 27 mars 2018.

[408] *Ibid*. p.7.

pas dépasser 40 % au niveau de la valeur cible, pour le Cd, As et Ni[409]. Le *Guide* fait aussi grand cas des valeurs maximales des limites de détection qui sont jugées acceptables si elles sont inférieures ou égales au dixième de la valeur cible[410] (2ng pour le Ni).

9.9 Contrôles et sanctions, en cas de dépassement de la norme

Au minimum, l'art. 5 de la Directive 2004/107/CE établit la procédure à suivre pour l'établissement des rapports à la Commission européenne pour les HAP, l'arsenic, le cadmium, le nickel et le mercure. Pour les zones et agglomérations où la valeur cible est dépassée, la France doit préciser les agglomérations concernées, les secteurs de dépassement, les valeurs de concentration évaluées, les causes du dépassement, et en particulier les sources qui y ont contribué, la population exposée à ces dépassements et les mesures prises pour atteindre les valeurs cibles.

Comme nous l'avons déjà souligné plus haut, le respect de la norme nickel constitue tout au plus une obligation de moyen et non de résultat. Par conséquent le dépassement de la valeur cible implique, pour l'État français l'obligation d'adopter des mesures pour revenir sous la valeur réglementaire, en autant que faire se peut, par application des MTD[411]. La Directive 2004 est claire sur ce point : en cas de dépassement de la valeur cible, « les États membres démontrent qu'ils appliquent toutes les mesures nécessaires n'entraînant pas de coûts disproportionnés, visant en particulier les sources d'émission prédominantes, de façon à atteindre les valeurs cibles ».

Sur un plan plus large et dans le cadre de la Directive européenne 2008/50/CE qui définit la surveillance de la qualité de l'air extérieur devant être mise en œuvre par les États membres au regard des polluants qui y sont visés (anhydride sulfureux, dioxyde d'azote et oxydes d'azote, particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$), plomb, benzène et monoxyde de carbone (le nickel n'est pas visé par cette Directive), ces derniers doivent mettre en place des plans d'actions en cas de dépassement des valeurs. Les plans qui sont mis en place en France par l'État et portés en région par les Directions régionales d'aménagement du territoire et du logement (DREAL) sont le SRADDET

[409] *Ibid*. p.12.
[410] Il semble que « [l]es teneurs en métaux réglementés mesurées dans l'air ambiant en France sont régulièrement inférieures aux limites de détection préconisées par la norme, ou dans la tranche basse des plages de concentrations pour lesquelles la méthode CEN est applicable». *Ibid.* p.8.
[411] Directive 2004/107/CE, art. 3.3.

(Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires) et le PPA (Plan de Protection de l'Atmosphère)

À notre avis, les métaux lourds ne peuvent être exclus des PAA pour la seule raison qu'ils ne sont pas visés par la Directive 2008/50/CE. Il suffit de consulter les PPA de nombreuses ZAS pour constater que le nickel, comme les autres métaux lourds, est inclus dans les PAA[412]. Un territoire doit mettre en place un PPA s'il connaît des dépassements des valeurs limites et/ou des valeurs cibles de la qualité de l'air, risque de connaître des dépassements ou englobe une ou plusieurs agglomérations de plus de 250 000 habitants.

9.10 Les Plans de protection de l'atmosphère

La Directive 2004/107CE, concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure le nickel et les HAP, on l'a vu, n'oblige pas les États de l'UE à établir de plans de protection de l'atmosphère en cas de dépassement de la valeur cible; elle leur demande seulement de dresser la liste des zones ou agglomérations où les valeurs cibles sont dépassées et d'appliquer des mesures nécessaires de façon à atteindre les valeurs cibles, sans pour autant entraîner des coûts disproportionnés. C'est plutôt la Directive 2008/50/CE concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant qui prévoit que, dans les zones et agglomérations où les normes de concentration de polluants atmosphériques sont dépassées, les États membres doivent élaborer des plans permettant d'atteindre les valeurs limites. Or il apparaît qu'en droit français, en plus des zones où les valeurs limites et les valeurs cibles sont dépassées ou risquent de l'être, des plans de protection de l'atmosphère (PPA) doivent être élaborés dans toutes les agglomérations de plus de 250 000 habitants (Art. L. 222-4 à L. 222-7 et R. 222-13 à R. 222-36 du *Code de l'environnement*).Selon l'article R222-16, le PPA doit définir les objectifs qui sont susceptibles de ramener, à l'intérieur de la zone concernée, les niveaux de concentration en polluants dans l'atmosphère à un niveau conforme aux valeurs limites ou, lorsque cela est possible, aux valeurs cibles[413]. L'objectif d'un

---

[412] Les polluants concernés par le PPA sont ceux réglementés par l'Union Européenne.Voir par ex. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Nord-Pas-de Calais/Préfet de la région Nord -Pas-de-Calais, *Plan de protection de l'atmosphère. Plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air, 2014*. [https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ppa-dreal 14 avril 2014.pdf]. Voir par ailleurs l'Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant [https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/4/19/DEVR1710772A/jo/texte].

[413] Conformément à l'art. R 222-14, le PPA énumère les principales mesures préventives et correctives, d'application temporaire ou permanente, pouvant être prises en vue de réduire les émissions des sources de pollution atmosphérique, d'utiliser l'énergie de manière rationnelle et d'atteindre les objectifs fixés dans le

PPA est donc d'assurer, dans un délai déterminé, le respect des normes de qualité de l'air mentionnées à l'article L. 221-1 du *Code de l'environnement,* dans les zones où ces normes ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être.

Les **Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA)** ont été introduits par la loi LAURE (Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie) en 1996. Le Code de l'environnement (Art. L-222-4) déclare que dans toutes les agglomérations de plus de 250 000 habitants, ainsi que dans les zones où les normes de qualité de l'air ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être, le préfet élabore un plan de protection de l'atmosphère, compatible avec les orientations du plan régional pour la qualité de l'air s'il existe (Art L-222.4 Code). Comme le souligne Romi[414], « [i]l ne s'agit pas de simples programmes, mais bien de documents exécutoires ». C'est un document obligatoire, régi par *le Code de l'environnement* (articles L. 222-4 à L. 222-7 et R. 222-13 à R. 222-36). Le Conseil d'État a confirmé ce point de vue dans sa décision n°394254 du 12 juillet 2017[415]. L'art L.222-6 du *Code de l'environnement* charge les maires et les préfets de prendre toutes les mesures requises pour la réalisation des plans de protection de l'atmosphère.

La carte ci-dessous illustre les zones géographiques qui sont actuellement couvertes par des plans de protection de l'atmosphère. Il existe actuellement 36 PPA qui concernent 47% de la population entière.

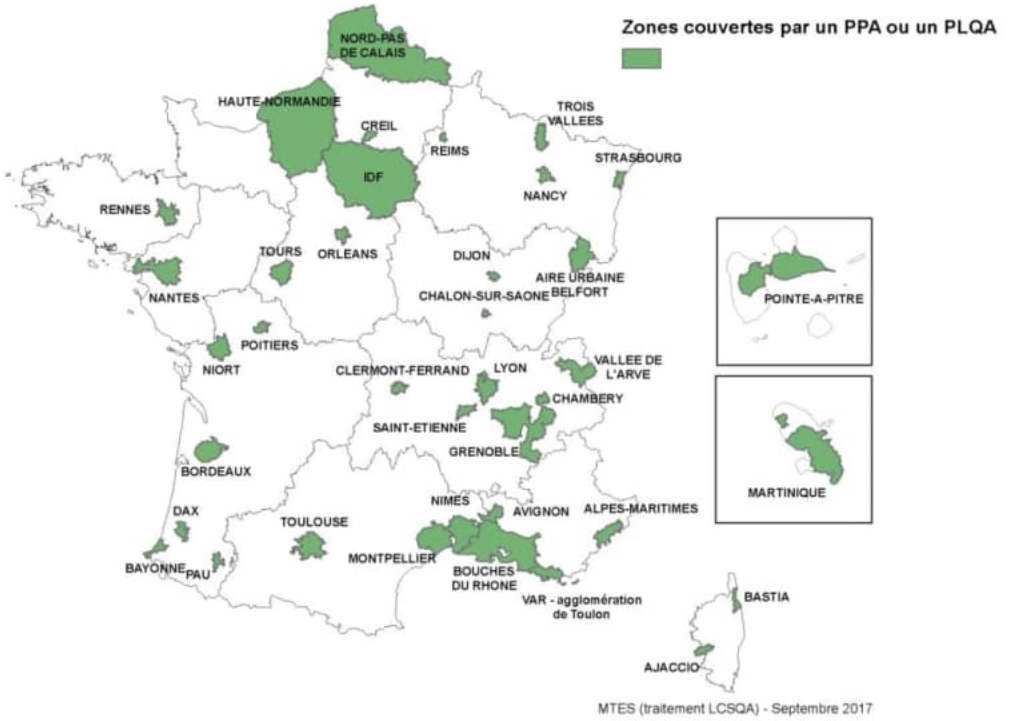
---

respect des normes de qualité de l'air; recense et définit les actions prévues localement; organise le suivi de l'ensemble des actions mises en œuvre dans son périmètre.

[414] Raphaël Romi, *Droit de l'environnement*, 7ième éd., Montchrestien, Paris 2010, p.509.

[415] *Supra*, section 1.

Plans de Protection de l'Atmosphère et Plans Locaux de la Qualité de l'Air



Source : Ministère de la transition écologique et solidaire, Politiques publiques pour réduire la pollution de l'air, 9 janvier 2017. [https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/politiques-publiques-reduire-pollution-lair]. Consulté le 23 mars 2018.

Par ailleurs, l'arrêt *Client Earth* du 19 novembre 2014[416] établit que les personnes physiques ou morales directement concernées par le dépassement des «valeurs limites» fixées par la Directive 2008/50/CE doivent pouvoir obtenir des autorités nationales l'établissement d'un plan relatif à la qualité de l'air conforme à son article 23 lorsque n'est pas assuré le respect des exigences requises. Dans cet arrêt, la CJUE juge que le seul fait d'établir un plan relatif à la qualité de l'air ne permet pas de considérer que la France respecte les valeurs limites de concentration de polluants dans l'atmosphère. Il n'en va pas de même, rappelons-le, pour la

[416] - Avis de la CJUE concernant la Directive 2008/50/CE et imposant aux États membres une obligation de résultat concernant le respect des valeurs limites (Affaire n°C-404/13, 19 novembre 2014, §30) ; (http://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/application/pdf/2014-11/cp140153fr.pdf)

norme nickel de l'Union européene établie par la Diective 2004/107/CE qui est une «valeur cible» et non une «valeur limite».

9.11 Le droit des installations classées pour fins de protection de l'environnement

Conformément aux principes du «pollueur-payeur» et de prévention de la pollution à la source et afin de prévenir, réduire ou éliminer la pollution due aux activités industrielles, le droit de l'UE[417] a mis en place un cadre général qui régit les principales activités industrielles. La France en a fait autant au livre V, titre I du *Code de l'environnement* relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement et qui est au centre du système légal de prévention des risques et des pollutions engendrées par les activités industrielles. Toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains, est **une** installation classée qui ne peut être exploitée que si elle a obtenu une autorisation administrative. On vise principalement les installations de production d'énergie, de production et de transformation des métaux, des industries minérales et chimiques et des installations de gestion des déchets. Il revient ainsi à chaque État de prendre les mesures nécessaires afin qu'aucune installation classée ne soit exploitée sans autorisation et cette autorisation peut établir des valeurs limites susceptibles d'être émises par l'installation concernée. De telles mesures sont inscrites dans les arrêtés préfectoraux et obéissent à deux facteurs, soit d'une part, la nécessité de recourir à la meilleure technologie disponible, dans des conditions économiques acceptables et d'autre part, la force de l'impact de l'activité en question sur les milieux naturels. L'État a évidemment le pouvoir d'autoriser ou de refuser son autorisation et d'imposer le respect de certaines normes techniques dans le fonctionnement d'une installation. Il lui revient aussi de prendre les mesures nécessaires pour que les conditions de l'autorisation soient respectées. L'exploitant peut être contraint de réaliser des prélèvements d'air ambiant et de faire rapport[418].

---

[417] Directive n° 2010/75/UE du 24/11/10 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) (refonte). (JOUE n° L 334 du 17 décembre 2010) [https://aida.ineris.fr/consultation_document/639]. Consulté le 27 mars 2018.

[418] Sur les conditions d'exploitation, voir : Trieffly, Patrick, *Traité de droit européen de l'environnement,* 3ième éd., Bruylant 2015, aux p.668-680. Olivier Soria, *Droit de l'environnement industriel,* PUG, Grenoble 2013.

La Directive 2010/75/UE a été transposée dans le droit français par le live V du Code de l'environnement. Le PPA est suivi par un important comité de suivi qui regroupe tous les représentants du milieu (préfet, maires, agences gouvernementales, chambre de commerce). Sur une base quotidienne, la bonne application des normes réglementaires du PPA se réalise sous l'autorité du Préfet du département, par l'inspection des installations classées sur le fondement du titre 1er du livre V du Code de l'environnement. Les sanctions encourues peuvent être administratives ou pénales. L'amende forfaitaire est applicable aux contraventions aux dispositions du PPA[419]. Les sanctions pénales dépendent de la nature de l'infraction (contravention ou délit).

9.12 Mesures administratives et pénales

Les contrôles administratifs et les mesures administratives de police sont prévus aux art. L-171 et L.172 du Code de l'environnement; les sanctions pénales à l'article L.173. La lecture de ces articles nous informe que le législateur français ne prévoit pas de sanction spécifique pour le dépassement de la valeur cible relative au nickel. Une disposition générale (art. L. 226-9 statue que « [l]orsqu'une entreprise industrielle, commerciale, agricole ou de services émet des substances polluantes constitutives d'une pollution atmosphérique, telle que définie à l'article L. 220-2[420], en violation d'une mise en demeure prononcée en application des articles L. 171-7 ou L. 171-8, l'exploitant est puni de deux ans d'emprisonnement et de 75 000 euros d'amende ». Il s'agit évidemment d'une mise en demeure signée par le préfet.

À notre connaissance, l'approche française n'est pas une approche punitive pour faits de pollution de l'air; ceci se comprend encore plus pour la violation de la norme nickel. Au mieux, l'État français peut demander à des installations industrielles d'utiliser les meilleures technologies disponibles (MDT). Il semble bien que la philosophie qui inspire la politique française découle de l'art. L 220-1 du *Code de l'environnement* « L'État et ses établissements publics, les collectivités territoriales et leurs établissements publics ainsi que les personnes privées concourent, chacun dans le domaine de sa compétence et dans les limites de sa

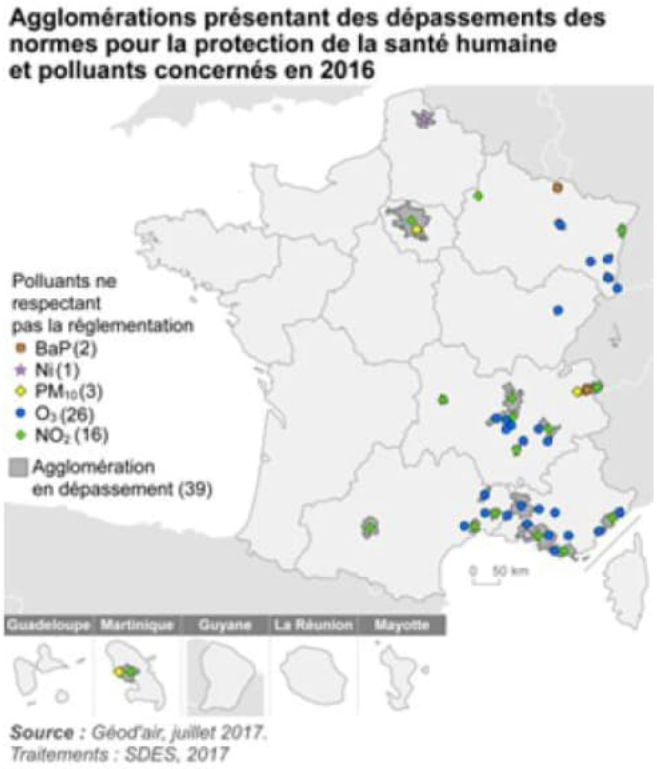
[419] Chapitre VI du titre II du livre II du Code de l'environnement,

[420] L. 220-2 : »Constitue une pollution atmosphérique au sens du présent titre l'introduction par l'homme, directement ou indirectement ou la présence, dans l'atmosphère et les espaces clos, d'agents chimiques, biologiques ou physiques ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives. »

responsabilité, à une politique dont l'objectif est la mise en œuvre du droit reconnu à chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Cette action d'intérêt général consiste à prévenir, à surveiller, à réduire ou à supprimer les pollutions atmosphériques, à préserver la qualité de l'air et, à ces fins, à économiser et à utiliser rationnellement l'énergie.

9.13 Le traitement du dépassement de la norme nickel dans les Hauts-de-France (2016)

© Ministère de la Transition écologique et solidaire



Source : Localtis, ***Qualité de l'air*** **-** La France sous la menace d'un renvoi devant la justice européenne [https://www.caissedesdepotsdesterritoires.fr/cs/ContentServer?pagename=Territoires/Articles/Articles&cid=1250280482219~.]

Comme on peut le constater, les émissions de nickel posent un certain problème dans le Nord de la France. Une étude[421] conduite par la Communauté urbaine de Dunkerque fait état, dans les Hauts-de-France, « d'un dépassement supplémentaire ponctuel en nickel sur un point de mesure de proximité industrielle ». Pour le nickel, il s'agit de la valeur cible qui n'a pas été

respectée. L'information en provenance du ministère de la transition écologique et solidaire mentionne l'existence d'un seul point de mesure situé à proximité d'industries dans le Pas-de-Calais[422] qui a enregistré une concentration de 29 ng/m^3», supérieure à la valeur cible de 20ng/m^3. En 2011, 2012 et 2016, les concentrations de nickel obtenues à Isbergues ont dépassé la valeur cible fixée à 20 ng/m3 en moyenne annuelle[423]. Depuis 2012, excepté pour le nickel, l'ensemble des autres polluants suivis à Isbergues respectent les valeurs réglementaires[424].

Suivi de la qualité de l'air en proximité industrielle. Résultats en 2016
Concentration moyenne (ng/m$^{3)}$ à Isbergues- site de Vandaele, en 2016

	Arsenic	Cadmium	Nickel	Plomb	PM10
	0.4	1.6	29	48.8	22.5
Valeur réglementaire	6 vc	5vc	20vc	500vl	40vl
SE min.	2.4	2	10	250	20
SE max.	3.6	3	14	350	28

vc= valeur cible; vl=valeur limite; SE min : seuil d'évaluation minimum; SE max : seuil d'évaluation maximum.
Source : ATMO Hauts-de-France, Mesures en air ambiant en 2016 à Isbergues.Synthèse, Juin 2017. [http://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/Atmo_Synthese_Isbergues2016v2_min.pdf]. Consulté le 14 avril 2018.

Pour ATMO Hauts-de-France, association régionale agréée pour la surveillance de la qualité de l'air, ces observations impliquent la poursuite de la surveillance obligatoire du nickel sur ce secteur, puisque le seuil d'évaluation maximal (14ng) a été atteint pour ce polluant. Il

---

[421] *Bilan territorial 2016. Quelle qualité de l'air en 2016?*p.6 [http://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Bilans-territoriaux/CUD_BT2016_VF2-min.pdf].Consulté le 27 mars 2018.

[422] Ministère de la transition écologique et solidaire, Commissariat général au Développement durable *Observations et statistiques, La pollution de l'air par les métaux lourds*, [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/227/0/pollution-lair-metaux-lourds.html]. Consulté le 24 mars 2018..

[423] Ministère de la transition écologique et solidaire, Commissariat général au développement durable, *Bilan de la qualité de l'air en France, 2016*, octobre 2017. [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2017/Datalab-26-bilan-de-la-qualite-de-l-air-en-france-en-2016-oct2017.pdf].Consulté le 24 mars 2018. *La liste des polluants présentant des dépassements est relativement stable d'une année sur l'autre à l'exception des métaux : le Cd en 2013, l'arsenic (As) en 2014 et le Ni en 2015 et 2016. Ces dépassements sont le plus souvent dus à des émissions industrielles et dépendent donc de l'activité des sites ou d'éventuels aléas*. (p.12).ATMO Hauts-de-France, *Mesures en air ambiant en 2016 à Isbergues. Synthèse,* Juin 2017. [http://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/Atmo_Synthese_Isbergues2016v2_min.pdf]. Consulté le 14 avril 2018.

[424] ATMO, ibid.

semble bien que ces résultats soient liés à une influence industrielle[425], (*trois usines : Recyco,* ThyssenKrupp Electrical Steel *et Aperam),* mais faute de financements en 2016, il n'a pas été possible pour ATMO d'approfondir l'interprétation de ces données[426]. L'étude admet que les possibilités pour ATMO « d'analyser en détail les résultats obtenus en 2016 et 2017, concernant les valeurs élevées de nickel, sont également incertaines », mais l'association se dit » ouverte à d'éventuels échanges sur le sujet avec les partenaires locaux[427] ». On comprend dès lors, dans ce contexte de pénurie financière, que faute de pouvoir identifier la source exacte de cette pollution, tout recours administratif semble exclu, surtout si l'origine de ce dépassement est la conséquence d'émissions multiples d'activités présentes sur la plateforme industrielle d'Isbergues. On note par ailleurs que la région Nord-Pas-de-Calais a été visée par le contentieux européen PM_{10} parce qu'elle connaît aussi, depuis 2007, des dépassements des valeurs limites pour les particules[428].

Selon des informations[429] qui nous ont été acheminées par la direction d'ATMO Hauts-de-France, il revient à la Direction régionale environnement aménagement logement (DREAL), un **service déconcentré du Ministère de la Transition écologique et solidaire et du Ministère de la Cohésion des territoires[430] et qui agit sous l'autorité du préfet de la région,** de faire le lien avec l'industriel concerné et de lui imposer des restrictions et des contrôles, si nécessaire. Le préfet peut également agir puisqu'il s'agit d'installations classées soumises au régime d'autorisation. Un arrêté préfectoral peut en effet prescrire la mise en œuvre d'un plan dédié à l'amélioration de la conception des installations sur la base des MTD et de l'entretien des dispositifs de traitements des fumées ou des dispositifs de captation des émissions.

---

[425] La moyenne de 29ng est obtenue pour le site de Vandaele, géographiquement plus proche de la zone industrielle émettrice et sous les vents majoritaires. D'autres sites donnent d'autres mesures moins élevées. Ibid.

[426] ATMO, ibid.

[427] ATMO, ibid. De 2010 à 2015, les études ont été réalisées dans le cadre d'un partenariat entre APERAM Stainless France (coproduits sidérurgiques, Isbergues) et Atmo Nord-Pas-de-Calais(Ibid.)

[428] Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement Nord - Pas de Calais, *Plan de protection de l'atmosphère. Plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air,* mars 2014, p.92-93. [https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ppa-dreal 14 avril 2014.pdf]. *Les métaux lourds surveillés regroupent l'arsenic, le cadmium, le nickel et le plomb. Ils sont présents dans l'atmosphère sous forme solide associés aux fines particules en suspension. Ils sont émis principalement par les activités de raffinage, de métallurgie, de transformation d'énergie et par l'incinération des déchets*. La technique de mesure utilisée est la collecte de la fraction PM_{10} des particules ambiantes sur un filtre sur 24h.

[429] Courriel en date du 13 avril 2018 expédié par Mme Sandra Vermeesch, ing. d'ATMO Hauts-de France.

[430] Voir : Décret n° 2009-235 du 27 février 2009 relatif à l'organisation et aux missions des directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement. Version consolidée au 02 mars 2017 [https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020318222&dateTexte=20170302] Consulté le 13 avril 2018.

L'arrêté peut même « interdire le stockage en vrac ou activité en extérieur de matière pulvérulente susceptible de disperser des métaux lourds par envol dans l'environnement[431] ».

Une installation classée peut faire l'objet de contrôles. Le but est de vérifier la conformité réglementaire de l'installation afin de protéger les intérêts visés à l'article L 511-1 du Code de l'environnement (notamment commodité du voisinage, santé, sécurité, salubrité publiques, protection de la nature, de l'environnement et des paysages). Par ailleurs, des Commissions de Suivi de Sites[432] ont régulièrement lieu, par zone géographique, afin de tenir tous les partenaires (riverains, associatifs, industriels, administrateurs de l'État, collectivités territoriales, élus locaux, salariés) au courant des démarches et actions réalisées par les principaux acteurs concernés. La Commission constitue un cadre d'échanges et d'informations sur les actions menées, sous le contrôle des pouvoirs publics, par l'exploitant, en vue de prévenir les risques d'atteinte aux intérêts protégés par le Code l'environnement. Tout exploitant doit présenter à la Commission, une fois par an, un bilan afférent à l'année précédente, sous forme de dossier. Il y va de la responsabilité de ce dernier de prendre toutes les dispositions nécessaires pour s'assurer que la conception des installations soit de nature à limiter au maximum les émissions dans l'atmosphère. La réglementation prévoit aussi que les poussières et gaz polluants soient, dans la mesure du possible, captés à la source et canalisés.

À notre connaissance, et sous réserve d'une recherche plus approfondie sur ce point, il n'apparaît pas que la gestion de la qualité de l'air passe, en temps normal, par une judiciarisation des processus de contrôle. Le PPA est élaboré en concertation avec 4 collèges concernés par l'amélioration de la qualité de l'air (services de l'État, collectivités territoriales, associations et professionnels concernés, exploitants) et c'est aussi par eux que passe le suivi de sa mise en œuvre dans le cadre d'une approche collaborative et consensuelle. Le PPA s'inscrit dans une procédure de concertation impliquant tous les intervenants intéressés et après enquête publique. Toutefois, il peut arriver que le PPA ne soit pas conforme aux exigences réglementaires

[431] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Commission de Suivi de Sites du 1er octobre 2015, *Actions 2014-2015 relatives aux émissions de nickel*.[file:///C:/Users/Maurice/Downloads/Presentation-DREAL-CSS-APERAM-du-07102015-249%20(4).pdf]. Consulté le 16 avril 2018.

[432] Voir : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Commission de Suivi de Sites du 1er octobre 2015, *Actions 2014-2015 relatives aux émissions de nickel.* [file:///C:/Users/Maurice/Downloads/Presentation-DREAL-CSS-APERAM-du-07102015-249%20(4).pdf]

européennes actuelles ou ne soient pas totalement appliqué[433], comme ce fut déjà le cas dans le Nord-Pas-de-Calais[434].

BIBLIOGRAPHIE

Textes légaux

France, *Code l'environnement*, [https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220].

France, Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

France, Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air ambiant. JORF n°0095 du 22 avril 2017 texte n° 10 [https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/4/19/DEVR1710772A/jo/texte]

France, Conseil d'État, décision en date du 12 juillet 2017, n°394254.Association des Amis de la Terre, France [http://www.conseil-etat.fr/Decisions-Avis-Publications/Decisions/Selection-des-decisions-faisant-l-objet-d-une-communication-particuliere/CE-12-juillet-2017-Association-Les-Amis-de-la-Terre-France].

France, Décret n° 2008-1152 du 7 novembre 2008 relatif à la qualité de l'air.

France, Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air.

France, Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air [https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/rapport-keraglass-bagneaux-150113.pdf].

France, Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air [https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/rapport-keraglass-bagneaux-150113.pdf].

---

[433] Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement Nord - Pas de Calais, *Plan de protection de l'atmosphère. Plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air,* mars 2014, p.51-53. [https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ppa-dreal_14_avril_2014.pdf].
« L'évaluation de ces quatre PPA (Dunkerque, Lille, Lens-Béthune-Douai et Valenciennes) a mis notamment en évidence l'absence de quantification des mesures de réduction de pollution, l'absence d'éléments de coût ou l'absence de suivi des PPA. Leur efficacité n'a donc pas pu être évaluée » (p.53).

[434]-Le 21 février 2013, la France a fait l'objet d'une mise en demeure de la Commission européenne visant le non-respect de l'obligation d'établir et de mettre en œuvre des PPA d'ambition suffisante pour respecter les normes de qualité de l'air. Cette mise en demeure concerne 4 régions dont le Nord – Pas-de-Calais. Selon les résultats d'une enquête publique menée sur ce sujet, « [l]'objectif du plan ne pourra être atteint que si l'ensemble des acteurs concernés et la population y adhèrent, que le non-respect des actions réglementaires qui fixent des obligations soit sanctionné et que des incitations financières accompagnent les mesures les plus coûteuses ».Voir : Préfecture du Nord, Préfecture du Pas-de-Calais, Enquête menée du mercredi 23 octobre au mercredi.27 novembre 2013 Prolongée jusqu'au 12 décembre 2013 inclus. Conduite par décision du Tribunal Administratif de Lille N° E 13000224/59 du 19 septembre 2013 [http://www.nord.gouv.fr/content/download/16275/100083/file/02%20CONCLUSIONS%20PPA%20-%2013%20janvier%202013.pdf]

Décision d'exécution de la Commission 2011/850/EU du 12/12/2011 portant modalités d'application des Directives 2004/107/CE et 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil concernant l'échange réciproque d'informations et la déclaration concernant l'évaluation de la qualité de l'air ambiant.

Rapports officiels et documents divers

ADEME, ATMO France, LCSQA, *Guide de lecture des directives européennes 2008/50 CE et 2004/107/CE. Surveillance de la qualité de l'air. Données et références*.

ANSES, Rapport d'expertise collective, *Les normes de qualité de l'air ambiant*, Avril 2017 [https://www.anses.fr/en/system/files/AIR2016SA0092Ra.pdf].

Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution Atmosphérique en Alsace (ASPA), *Évaluation de la pollution par les HAP et les métaux lourds en Alsace. Mise en œuvre d'une campagne de mesure,* Septembre 2006 http://www.atmo-alsace.net/medias/produits/Evaluation_de_la_pollut.pdf.

Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement Nord - Pas de Calais, *Plan de protection de l'atmosphère Plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air,* mars 2014 [https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ppa-dreal_14_avril_2014.pdf].

France, Assemblée nationale. *Rapport d'information déposé en application de l'article 146-3, alinéa 6, du Règlement par le comité d'évaluation et de contrôle des politiques publiques sur l'évaluation des politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air* et présenté par MM. Jean-Louis Roumégas et Martial Saddier, Députés, 19 mai 2016 [http://www.assemblee-nationale.fr/14/rap-info/i3772.asp].

France, Commission nationale consultative des droits de l'homme. Avis sur le droit à un environnement sain dans les Outre-mer : la question des activités extractives en Guyane et en Nouvelle-Calédonie, Assemblée plénière du 17 octobre 2017. JORF n°0275 du 25 novembre 2017.

European Environment Agency, *Air quality in Europe - 2016 Report*, EEA Report No 28/2016, Luxembourg, 2016. http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016/at download/file].

EEA, *Air Quality in Europe 2017,* Report No 13/2017 (annual mean nickel-observed concentrations of nickel in 2015) https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017.

Ministère de la transition écologique et solidaire, Commissariat général au développement durable, *Bilan de la qualité de l'air en France, 2016*, octobre 2017. [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2017/Datalab-26-bilan-de-la-qualite-de-l-air-en-france-en-2016-oct2017.pdf].Consulté le 24 mars 2018.

Air Parif, *Surveillance des métaux dans l'air ambiant*, Juin 2008. [https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/Rapmontereau_biblio.pdf].

France, Commissariat général au développement durable (CGDD). *Bilan de la qualité de l'air en France en 2013 et principales tendances observées sur la période 2000-2013*.

France,Cour des comptes *Les politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air* : Rapport. déc. 2015. [https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/20160121-rapport-politiques-publiques-lutte-contre-pollution-air.pdf].

CITEPA, 2015. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Format SECTEN © CITEPA 2015 [https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-25248-secten-ges.pdf] - NF EN 14902 - Qualité de l'air ambiant – Méthode normalisée de mesure du plomb, du cadmium, de l'arsenic et du nickel dans la fraction MP10 de matière particulaire en suspension [https://www.boutique.afnor.org/xml/826957/false].Note : la norme européenne EN 14902:2005 avec son corrigendum AC:2006, a le statut d'une norme française. Pour des raisons techniques, nous n'avons pas eu accès à ce document.

France, Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) - *Recommandations concernant la stratégie de surveillance (évaluation préliminaire & surveillance) des métaux lourds (As, Cd, Ni, Pb) et HAP (BaP principalement) dans l'air ambiant*, 2008, [http://www.lcsqa.org/rapport/2008/ademe/recommandations-concernant-strategie-surveillance-evaluation-preliminaire-surveil].

LCSQA - *Guide Technique et Méthodologique de l'Analyse de l'Arsenic, Cadmium, Nickel et Plomb dans l'Air Ambiant*, 2011. [https://www.lcsqa.org/rapport/2011/mines-douai/guide-technique-methodologique-analyse-arsenic-cadmium-nickel-plomb-air-amb].

Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air, *Guide méthodologique sur les stations françaises de surveillance de la qualité de l'air,* 2017. [http://www.lcsqa.org/rapport/2016/imt-ld-ineris/guide-methodologique-stations-francaises-surveillance-qualite-air].

OCDE, *Examens environnementaux de l'OCDE : France 2016*, OCDE 2016.

Rapport national d'inventaire. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Séries sectorielles et analyses étendues FORMAT SECTEN Avril 2015 [https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-25248-secten-ges.pdf].

CITEPA, inventaire SECTEN, [https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/secten].

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Nord-Pas-de Calais/Préfet de la région Nord -Pas-de-Calais, *Plan de protection de l'atmosphère. Plan d'actions pour améliorer la qualité de l'air,* 2014. [https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ppa-dreal_14_avril_2014.pdf].

Ademe, Urbanisme et qualité de l'air. Des territoires qui respirent [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/urbanisme_et_qualite_de_l_air_8316.pdf]
France, Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES), *Les normes de qualité de l'air ambiant Avis de l'Anses. Rapport d'expertise*, Avril 2017.[https://www.anses.fr/en/system/files/AIR2016SA0092Ra.pdf].

France, Commission nationale consultative des droits de l'homme. Avis sur le droit à un environnement sain dans les Outre-mer : la question des activités extractives en Guyane et en Nouvelle-Calédonie, Assemblée plénière du 17 octobre 2017. JORF n°0275 du 25 novembre 2017,
[https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000036085852&dateTexte=&categorieLien=id].

Doctrine

Bouvier F., « Le dispositif français de surveillance de la qualité de l'air », Pollution atmosphérique, no spécial, Novembre 2012, p.35, [http://www.appa.asso.fr/national/Pages/article.php?art=754].
Romi Raphaël, *Droit de l'environnement*, 7ième éd. Montchrestien, Paris 2010.

Van Lang, Agathe, *Droit de l'environnement*, Thémis, Paris 2011.

Prieur, Michel, *Droit de l'environnement,* Dalloz, Paris 2016.

Trieffly, Patrick, *Traité de droit européen de l'environnement,* 3ième éd., Bruylant 2015.

10. La Nouvelle-Calédonie

Étant donné le lien constitutionnel qui unit encore la France à la Nouvelle Calédonie et vu que celle-ci se situe dans le groupe de tête des producteurs mondiaux de nickel (6^{ième} en 2017) en raison précisément des mines de nickel de la Nouvelle-Calédonie, nous avons pensé qu'il serait certainement intéressant de vérifier si des normes spéciales de valeurs limites s'y imposaient sur le chapitre de la pollution atmosphérique. L'étude démontre plutôt que les lois environnementales françaises ne s'y appliquent pas et que la Nouvelle-Calédonie, qui a toute compétence pour contrôler la pollution atmosphérique, n'a aucune norme connue sur la pollution de l'air par le nickel.

Le statut de la Nouvelle-Calédonie est régi par le Titre XIII de la Constitution française qui comprend des dispositions transitoires relatives à la Nouvelle-Calédonie, puisque celle-ci devrait tenir un référendum d'autodétermination le 4 novembre 2018 et qui pourrait conduire à l'indépendance nationale. Il s'agit, selon l'ONU, d'un territoire à décoloniser, puisqu'il est inscrit sur la liste du Comité spécial sur la décolonisation de l'ONU depuis le 2 décembre 1986. Il ne s'agit donc pas d'un département ou d'une région d'outre- mer, où les lois et règlements français seraient applicables de plein droit. Il s'agit plutôt d'un territoire à statut particulier, régi par la *Loi organique n° 99-209 du 19 mars 1999 relative à la Nouvelle-Calédonie*. La constitution française déclare que les provinces et les communes de la Nouvelle-Calédonie sont des collectivités territoriales de la République qui s'administrent librement par des assemblées élues au suffrage universel direct; elle opère une large dévolution des compétences étatiques françaises aux institutions de la Nouvelle-Calédonie, et pour l'essentiel, l'État français y exerce encore une sorte de protectorat limité à quelques grandes questions (défense nationale, nationalité, agents publics).Il est vrai que certaines dispositions du *Code de l'environnement* de la France sont applicables en territoire de la Nouvelle-Calédonie (Livre V1, titre premier), mais elles ne concernent pas l'objet de notre propos. Il existe en effet une répartition des compétences entre l'État français, la Nouvelle-Calédonie, les provinces et les communes. La réglementation relative aux hydrocarbures, au nickel, au chrome, au cobalt et aux éléments des terres rares est fixée par le Congrès de la Nouvelle-Calédonie. Les décisions d'application de cette réglementation sont prises par délibération de l'assemblée de province. La police des mines est exercée par le président de l'assemblée de province.

D'une manière générale, le Congrès de la Nouvelle-Calédonie est compétent en matière d'hygiène et de santé publique, ainsi que sur les mines, mais la compétence en matière de réglementation **e**nvironnementale relève de chacune des trois provinces : province Sud, province Nord et province des îles Loyauté. Il existe bien un Code de l'environnement de la Province Nord[435] qui remonte à 2008, puis un Code de l'environnement de la Province Sud[436] adopté en 2009, révisé en 2015, mais ces Codes ne font aucune référence aux règlements ou directives européens en matière de pollution atmosphérique et ne contiennent aucune disposition particulière sur le sujet. Les îles Loyauté ont également adopté un Code de l'environnement[437] en 2016 mais la pollution atmosphérique ne fait pas partie du Code. Les trois Codes visent surtout les installations classées, c'est-à-dire des activités à caractère industriel ou agricole susceptibles d'entraîner des risques pour l'environnement : demande d'autorisation, mise en demeure de régularisation, cessation d'activité, fermeture.

Le 11 janvier 2017, le Congrès de la Nouvelle-Calédonie a voté à l'unanimité une délibération relative à l'amélioration de la qualité de l'air ambiant[438] visant à limiter les émissions de polluants. La nouvelle loi veut assurer, dans le respect des compétences des communes et des provinces, la surveillance de la qualité de l'air ambiant et prévoit que des arrêtés gouvernementaux vont venir préciser : les paramètres de santé publique qui feront l'objet d'une surveillance; la liste des substances surveillées et les normes de qualité de l'air; les modalités de surveillance; les modalités de calcul des indices de qualité de l'air, les procédures d'alerte. D'entrée de jeu, la loi souligne que les normes de qualité de l'air qui seront adoptées doivent respecter, « *a minima,* celles fixées par l'Union européenne et, le cas échéant, par l'organisation mondiale de la santé ». Des zones de surveillance seront définies et dans chacune de celle-ci, ce seront des associations agréées qui auront la responsabilité de la mise en œuvre du

[435] Nouvelle-Calédonie, Délibération n° 2008-306/APN du 24 octobre 2008 relative au code de l'environnement de la province Nord journal officiel de la Nouvelle-Calédonie 29 décembre 2008, p.9578[https://dimenc.gouv.nc/sites/default/files/download/extraitcodeenviornnementpn.pdf]. Consulté le 15 mars 2018]

[436] Délibération ° 25-2009/APS du 20 mars 2009 relative au code de l'environnement de la Province Sud (JONC 9 avril 2009, p. 2590

[437] Nouvelle-Calédonie, Délibération n° 2016-13/API du 6 avril 2016 portant adoption du Code de l'environnement de la province des îles Loyauté, Journal officiel de la Nouvelle-Calédonie 23 juin 2016, p.5936 [http://www.juridoc.gouv.nc/JuriDoc/JdWebE.nsf/joncentry?OpenPage&ap=2016&page=5936].Consulté le 15 mars 2018.

[438] Délibération no 219 du janvier 2017 [http://www.congres.nc/wp-content/uploads/2017/01/De%CC%81libe%CC%81ration-n%C2%B0-219-du-11-janvier-2017.pdf].Consulté le 21 mars 2018.

dispositif de surveillance, comme en droit français. L'article 6 de la loi précise que les entreprises dont les activités sont susceptibles d'engendrer des émissions polluantes sont obligées d'opérer une surveillance de la qualité de l'air, en collaboration avec les associations agréées, et ce, dans les périmètres définis par le gouvernement. Le droit à l'information sur la qualité de l'air est reconnu à toute personne sur l'ensemble du territoire de la Nouvelle-Calédonie et lorsque les normes de qualité de l'air ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être, le public en est immédiatement informé. Si une entreprise émet des substances polluantes en contravention des normes de qualité de l'air, son exploitant est susceptible, après une mise en demeure, d'une peine d'emprisonnement de 2 ans et d'une forte amende.

À la date du 16 avril 2018, le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie n'avait pas encore adopté la réglementation nécessaire à l'application de la loi[439]. En effet, les services du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie sont toujours en train d'élaborer les arrêtés d'application prévus dans la délibération n°219 du 11 janvier 2017.
Ces arrêtés ne sont pas encore finalisés. Mais après adoption, ils seront publiés au Journal Officiel de la Nouvelle-Calédonie.

Les usines de nickel sont soumises à une réglementation d'installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) par les Codes de l'environnement des provinces du Nord, du Sud et la Délibération n° 2016-13/API du 6 avril 2016 portant adoption du Code de l'environnement de la province des îles Loyauté[440]. Il ne semble pas, du moins à notre connaissance, que ces installations, qui sont réglementées sur une multitude de sujets (commodité du voisinage, santé, sécurité, salubrité publiques, agriculture, protection de la nature et de l'environnement, conservation des sites et des monuments), soient soumises à des normes de qualité de l'air[441].

---

[439] Courriel en date du 16 avril 2018 de la part de Mme Delphine Gery, Inspecteur des installations classées pour l'environnement, Direction de l'industrie, des mines et de l'énergie, Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie (delphine. gery@gouv.nc).

[440] Journal officiel de la Nouvelle-Calédonie, no 9290, jeudi 23 juin 2016, p 5936. [http://www.juridoc.gouv.nc/JuriDoc/JdJonc.nsf/0/114AD32973A8E7034B257FDF000B0180/$File/9290.pdf?OpenElement].Consulté le 23 mars 2018.

[441] Voir: Direction de l'industrie, des mines et de l'énergie. Les installations classées pour la protection de l'environnement // Liste des prescriptions générales ICPE - Rubriques séries 1000 et 2000 [https://dimenc.gouv.nc/industrie/les-installations-classees-pour-la-protection-de-lenvironnement].Consulté le 21 mars 2018.

Par ailleurs, et tel qu'en fait foi l'Arrêté[442] n° 1467-2008/PS du 9 octobre 2008 autorisant la société Goro Nickel SAS à l'exploitation d'une usine de traitement de minerai de nickel et de cobalt sise "Baie Nord" - commune du Mont-Dore, d'une usine de préparation du minerai et d'un centre de maintenance de la mine sis "Kwe Nord" - commune de Yaté, le gouvernement n'a pas institué de seuil pour la qualité de l'air ambiant, comme il aurait pu le faire. Ceci se comprend si nous gardons à l'esprit qu'il n'existe pas encore, en Nouvelle Calédonie, de règlement fixant des normes de qualité de l'air ambiant. Il s'agit pourtant de la fabrication de chlorure de nickel et d'oxyde de nickel. L'Observatoire de l'environnement Nouvelle Calédonie (ŒIL) écrit que cet Arrêté est la référence de Vale en matière de respect des différents seuils de polluants présents dans l'air ambiant[443]. Il semble que les métaux dans les matières en suspension sont analysés grâce à un préleveur automatique de particules en suspension conforme à la norme EN 12341 et que les métaux dans les retombées de poussière sont analysés grâce à un collecteur conforme à la norme X43-014. La surveillance s'effectuerait dans le cadre de deux campagnes annuelles d'un mois chacune. On doit conclure que la société commerciale Goro Nickel SA, propriété de Vale Nouvelle-Calédonie, applique ses propres normes d'émission.

BIBLIOGRAPHIE

Nouvelle-Calédonie, Délibération no 219 relative à l'amélioration de la qualité de l'air ambiant du 11 janvier 2017 [http://www.congres.nc/wp-content/uploads/2017/01/De%CC%81libe%CC%81ration-n%C2%B0-219-du-11-janvier-2017.pdf].

Syndex (Dominique Caboret, Alain Mestre et Philippe Morvannou, auteurs) *Nickel, métal du diable ou vecteur de développement ? Pour une régulation de la croissance minière et métallurgique calédonienne,* Juillet 2015, [https://www.syndex.fr/sites/default/files/files/pdf/2017-05/Nickel%20Syndex-juillet-2015.pdf].

C.E.K., *Le suivi de la qualité de l'air ambiant par Koniambo Nickel* [http://www.cek.nc/phocadownload/le%20suivi%20des%20polluants%20par%20koniambo%20nickel.pdf].

Laurent L'Huillier et Tanguy Jaffré, « L'exploitation du minerai de nickel en Nouvelle-Calédonie », 2010 [https://www.researchgate.net/publication/281113188 1 L'exploitation du minerai de nickel en Nouvelle-Calédonie].

442 [http://www.juridoc.gouv.nc/JuriDoc/JdJ200.nsf/JoncP/2008-07347/$File/2008-7347.pdf?OpenElement].Consulté le 23 mars 2018.

443 ŒIL, Suivi de la qualité de l'air sur le site de Vale, Nouvelle-Calédonie. [http://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/suivi/view/1995].Consulté le 23 mars 2018.

11. La Norvège

On doit d'abord situer le statut international de la Norvège par rapport à l'Union européenne puisque celle-ci, sans être un membre de l'UE, a contracté des liens qui l'unissent à l'UE sur plusieurs chapitres, dont celui du contrôle et de la gestion de la pollution atmosphérique. Il faut voir ensuite l'état des concentrations de nickel dans l'air ambiant au cours des dernières années (2), puis examiner finalement le fondement de l'analyse juridique en rapport avec la norme nickel (3).

11.1 Le statut de la Norvège face à l'UE : un membre de l'Espace Économique Européen

La Norvège n'est pas membre de l'Union européenne, ses citoyens ayant rejeté ce statut par deux fois en 1972 et 1994. Elle est par contre l'un des quatre membres encore restants de l'Association européenne de libre-échange[444] (AELE) avec l'Islande, le Liechtenstein et la Suisse. En 1992, l'AELE concluait une entente avec l'UE afin de créer l'espace économique européen[445] (EEE). Seule la Suisse a refusé de se joindre ce nouvel espace européen et trois de ses membres- l'Autriche, la Finlande et la Suède- ont finalement décidé de faire partie de l'UE.

L'Accord sur l'espace économique européen, qui est entré en vigueur en 1994, établit une zone de libre circulation des personnes, des services, des marchandises et des capitaux entre 31 pays européens (28+3). La carte ci-dessous illustre cet espace européen qui est désormais plus grand que l'UE.

[444] À l'origine, l'AELE compte 7 membres : Autriche, Finlande, Islande, Liechtenstein, Norvège, Suède et Suisse. L'Autriche, la Finlande et la Suède ont décidé de joindre l'UE en 1995.

[445] L'accord sur l'Espace économique européen (EEE), signé le 2 mai 1992 à Porto par les douze États membres de la Communauté européenne, l'actuelle Union européenne (UE) et les sept pays de l'AELE. La Suisse, membre de l'AELE, a refusé de ratifier cet accord.

Carte des pays membres de l'EEE

Liste des pays membres de l'EEE : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède. Source : Global BPA [https://www.globalbpa.com/].

Depuis le 1er juin 2012, les règlements et les directives de l'UE sont applicables à la Norvège, l'Islande et le Liechtenstein par application de l'art.7 de l'Accord qui déclare expressément que les actes auxquels il est fait référence ou qui sont contenus dans les 22 annexes ou dans les décisions du Comité mixte de l'EEE sont obligatoires pour les parties contractantes et font partie de leur ordre juridique interne[446].

11.2 Les concentrations de métaux lourds dans l'air ambiant : un bref aperçu

Le Rapport 2015 de l'Agence norvégienne pour l'environnement[447] note que, pour la période 1991-2015 et pour la région de Lista/Birkenes, il y a eu une réduction significative des

[446] *Infra*, section 3.

[447] Norwegian Environment Agency, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, Annual report 2015,* p.3 [https://www.researchgate.net/publication/314286116].*Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation_Annual_report_2015*].Consulté le 2 avril 2018.

concentrations des métaux lourds (As, Cd, Co, Cr, Pb, Ni and V) dans l'air ambiant et que c'est le cas également de Zeppelin pour l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le plomb, le nickel et le vanadium. Il peut être intéressant d'examiner d'un peu plus près les moyennes annuelles observées au cours des dernières années. Les stations de mesures sont situées à Karpdalen et Svanvik au nord-est, près de la frontière russe et de la commune de Nickel où l'on trouve des fonderies de nickel. Birkenes est au nord de la ville de Kristiansand, dans le sud du pays, et Andøya au Nord-ouest. Le mont Zeppelin est située sur l'archipel du Svalbard, près de Ny-Ålesund.

11.2.1 Concentrations moyennes annuelles de métaux lourds dans l'air et les aérosols en 2016. Unité: ng / m3

	AL	As	Cd	Cr	Co	Cu	Pb	Mn	**Ni**	v	Zn	Hg(g)
Birkenes II		0.14	0.022	1.05	0.014	0.41	0.56		**0.16**	0.26	3.3	1.42
Andøya		0.06	0.007	0.16	0.011	0.23	0.20	0.39	**0.21**	0.16	1.2	1.43
Zeppelin		0.04	0.006	0.14	0.007	0.18	0.14	0.46	**0.11**	0.05	1.4	1.48
Karpdalen	26.2	2.25	0.163	0.26	0.308	6.27	2.56		**7.56**	1.91	5.3	
Svanvik	32.3	1.86	0.134	0.29	0.312	6.26	2.47		**7.66**	1.77	5.3	

Source: Norwegian Environment Agency, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation Annual Report 2016.* Table 5.3, p.45 [http://www.miljodirektoratet.no/ Documents/publikasjoner/M757/M757.pdf].

Pour l'année 2016, l'Agence norvégienne de l'environnement constate ceci :

(Traduction) En général, les concentrations de la plupart des métaux lourds dans l'air à Birkenes en 2016 sont de deux à trois fois plus élevé que ceux observés chez Andøya et Zeppelin. C'est probablement parce que Birkenes est plus proche des sources d'émission sur le continent européen. À son tour, à Svanvik et Karpdalen, les concentrations dans l'air sont environ dix fois plus élevées que celles observées à Birkenes. Ceci semble suggérer que la source du problème réside dans les émissions élevées des fonderies à Nikel (Russie) près de la frontière[448]

[448] Norwegian Environment Agency, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation Annual Report 2016*, p45.[http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M757/M757.pdf].Consulté le 3 avril 2018. Le texte original se lit ainsi: *In general, the concentrations of most heavy metals in air at Birkenes in 2016 are two-three times higher than those observed at Andøya and Zeppelin. This is likely*

11.2.2 Concentrations moyennes annuelles de métaux lourds dans l'air et les aérosols en 2015. Unité: ng/m3

Les moyennes annuelles de concentration des métaux lourds dans l'air pour 2015

	As	Cd	Cr	Co	Pb	Mn	**Ni**	V	Zn	Hg (g)	Cu
Birkenes	0.16	0.025	0.73	0.01	0.73	.	**0.19**	0.21	4.0	1.51	0.50
Andoya	0.06	0.010	0.08	0.006	0.28	0.23	**0.10**	0.11	0.8	1.50	0.17
Zeppelin	0.07	0.010	0,16	0.009	0.26	0.49	**0.11**	0.06	1.4	1.49	0.29

Source: Norwegian Environment Agency, Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, annual report 2015, p.14
[https://www.researchgate.net/publication/314286116 Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation_annual_report_2015]

Le rapport indique que si les concentrations de métaux lourds à Birkenes sont plus élevées qu'ailleurs, c'est en raison de la proximité de la région avec les sources d'émission en Europe[449]. On donne la même explication dans le rapport pour l'année 2014 où la concentration de nickel atteint 0.40 à Birkenes 11

11.2.3 Concentrations moyennes annuelles du nickel dans l'air et les aérosols pour 2014 et 2013. Unité: ng/m3

	Ni 2014	Ni 2013
Birkenes 11	0.40	0.38
Andoya	0.13	0.14
Zeppelin	0.14	0.12

because Birkenes is closer to the emission sources at the European continent. In turn, at Svanvik and Karpdalen, the concentrations in air are about ten times higher than those observed at Birkenes. This suggest local sources, high emissions from the smelters in Nikel (Russia) close to the Norwegian border. L'affinerie Nikkelverk de Glencore en Norvège, dans la ville côtière de Kristiansand, où le nickel brut est transformé en métaux de haute qualité, ne semble pas causer de problèmes particuliers puisque le Rapport n'en parle pas.

[449] Voir aussi: Norwegian Environment Agency, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation Annual Report 2016* [http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M757/M757.pdf]." Higher levels in southern Norway for heavy metals and organic contaminants with ongoing use are mainly due to closeness to the potential emission sources in continental Europe".

Source : Norwegian Environment Agency, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, annual report 2014,* p.14;
[https://www.researchgate.net/publication/280933411 Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation_annual_report_2014]. Norwegian Environment Agency, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, annual report 2013,*
p.15[http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M202/M202.pdf].Consulté le 2 avril 2018

D'une manière générale, ces statistiques démontrent qu'il n'existe pas de problème grave de pollution par le nickel en Norvège et que les fortes concentrations observées dans la région de Birkenes au cours des années 2013 et 2014, qu'on dit attribuables à la pollution transfrontière en provenance d'Europe[450], semblent diminuer.

Il est difficile d'avoir une opinion plus précise sur les émissions de nickel en Norvège parce que si celle-ci est obligée de faire rapport, à chaque année, de ses émissions de divers polluants dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière et de ses protocoles, ceux-ci ne visent pas le nickel. Le Rapport[451] de 2018 de l'Agence norvégienne de l'environnement, qui fait l'inventaire des sources d'émissions polluantes, omet d'inclure le nickel dans ses statistiques. Par ailleurs, la Directive 2004/107/CE n'impose qu'une valeur cible pour le nickel et ne prévoit que le recours aux meilleures technologies possibles. On peut probablement dire que parmi tous les polluants atmosphériques, le nickel est la substance qui est la moins surveillée.

11.3 Sources du droit norvégien sur le chapitre de la pollution atmosphérique

L'Accord sur l'espace économique européen (EEE) ne vise pas seulement à garantir de la manière la plus complète possible la libre circulation des marchandises, des personnes, des services et des capitaux dans l'ensemble de l'Espace économique européen; il vise également à imposer des règles communes dans des secteurs connexes comme ceux des politiques sociales, de la protection des consommateurs, de l'égalité entre les hommes et les femmes, des conditions de vie des travailleurs, du droit des sociétés et de l'environnement. Sur ce dernier chapitre, il vise particulièrement à fonder toute l'activité réglementaire des États sur un niveau élevé de

[450] Norwegian Environment Agency, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, annual report 2013,* p.15[http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M202/M202.pdf]
[451] Norwegian Environment Agency, *Informative Inventory Report (IIR) 2018. Norway. Air Pollutant Emissions 1990-2016* [http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M967/M967.pdf].

protection de la santé, de la sécurité et de l'environnement. L'article 73 de cet Accord prévoit que l'action des parties contractantes en matière d'environnement a pour objet de préserver, de protéger et d'améliorer la qualité de l'environnement, de contribuer à la protection de la santé des personnes et d'assurer une utilisation prudente et rationnelle des ressources naturelles.

En vertu du droit de l'EEE, la Norvège est liée par la Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe[452], ainsi que par la Directive 2004/107/CE du 15/12/04 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant[453]. Il faut savoir en effet que le Comité mixte de l'Accord EEE a le pouvoir de modifier les annexes à l'Accord EEE, dont l'annexe XX qui porte sur l'environnement[454]. Le Comité mixte de l'EEE peut décider que la coopération doit revêtir la forme d'un texte législatif parallèle au contenu identique ou similaire, à adopter par les parties contractantes ; dès leur entrée en vigueur, les décisions prises par le Comité mixte de l'EEE sont obligatoires pour les parties contractantes qui prennent les mesures nécessaires pour assurer leur mise en oeuvre et leur application. C'est par décision[455] du comité mixte de l'EEE No 34/2007 du 27 avril 2007 que l'annexe XX (Environnement) de l'accord EEE a été modifiée pour y ajouter, parmi les textes obligatoires à respecter, la Directive 2004/107/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant; cette décision précise que les textes de la directive 2004/107/CE en langues islandaise et norvégienne font foi. On ne se surprendra pas à constater que la norme nickel de la Norvège s'aligne sur la valeur cible établie par l'UE dans sa Directive

[452] Décision du Comité mixte de l'EEE No 121/2011 du 21 octobre 2011 modifiant l'annexe XX (Environnement) de l'accord EEE [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:22011D0121&from=FR]. Consulté le 3 avril 2018.

[453]Décision du comité mixte de l'EEE No 34/2007 du 27 avril 2007. [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:22007D0034&from=EN]. Consulté le 3 avril 2018. EFTA Surveillance Authority, "Letter of formal notice for non-compliance with the limit values for NOz, PM_{10} and SO_2; and for non-compliance with the action plan obligation and measurement obligations in Directive 2008/50/EC". Brussels, 6 November 2013. Case Nos: 70550, 70784 Event No: 641736 Dec. No:427ll3lCOL [http://www.eftasurv.int/media/public-documents/641736.pdf]. UNEP, Norway Air Quality Policies [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17075/Norway.pdf?sequence=1&isAllowed=y]. Consulté le 3 avril 2018.OCDE, *Examens environnementaux de l'OCDE : Norvège 2011 Résumé.* [https://www1.oecd.org/fr/env/examens-pays/47808062.pdf].Consulté le 3 avril 2018.

[454] Voir ex: Décision du comité mixte de l'EEE, Nº 31/2016, 5 février 2016 modifiant l'annexe XX (Environnement) de l'accord EEE [2017/1314].

[455] [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:22007D0034&from=EN]

2004/107/CE, soit une moyenne annuelle de 20ng/m3. Un auteur[456] reconnaît que la législation européenne a joué un rôle important dans l'évolution du droit de l'environnement en Norvège et que celle-ci a adopté la plupart des textes européens en matière de pollution.

En pratique, la politique de l'UE en matière d'environnement a donc été intégrée dans la législation norvégienne[457], de sorte que sur ce point, il n'y a guère de différence entre le statut d'un pays membre de l'UE et celui d'un pays membre de l'AELE-EEE. On note finalement que la Norvège est un membre à part entière de l'Agence européenne pour l'environnement, qui fournit notamment des rapports sur l'état de l'environnement en Europe. Elle a aussi été l'un des premiers pays à ratifier le Protocole d'Aarhus concernant les POP et les métaux lourds.

11.4 La valeur cible de la Norvège

Il existe une traduction officieuse de la loi norvégienne de 1981 sur le contrôle de la pollution (*Pollution Control Act*[458]). Il existe aussi une traduction officieuse de la réglementation norvégienne sur le chapitre de la pollution de l'air[459]. Ce sont ces textes qui nous serviront de

---

[456] Hans Christian Bugge, *Environmental law in Norway,* Kluwer Law International, The Netherlands, 2011, p. 54 et 67.

[457] Les trois pays de l'AELE ne participent pas formellement au processus législatif de l'UE, mais les directives nouvelles de celle-ci leur sont applicables à travers un processus de consultation préalable et de négociations. Les modalités de la coopération entre la Communauté européenne et les pays de l'EEE-AELE, dans les domaines autres que la libre circulation, figurent dans le protocole 31 de l'accord EEE. Le Comité mixte de l'EEE, qui composé de représentants des parties contractantes, rend des décisions sur la base d'un commun accord par la Communauté, d'une part, et les États de l'AELE s'exprimant d'une seule voix, d'autre part. Il peut décider que la coopération, en matière environnementale, doit revêtir la forme d'un texte législatif parallèle au contenu identique ou similaire, à adopter par les parties contractantes. Il est en effet admis que la réglementation environnementale peut avoir des impacts importants sur des acteurs économiques et qu'il est important que les normes en la matière soient harmonisées au plus haut degré possible. Voir EFTA/AELE, « L'espace économique européen » Fact sheet of the European free trade association December 2005 [http://www.efta.int/media/publications/fact-sheets/EEA-factsheets/FACTSHEETFRENCHwebversion.pdf].
Prise de décision -Lorsqu'un acte légal qui touche l'EEE est modifié ou lorsqu'un nouvel acte est adopté par l'UE, un amendement concordant doit être effectué dans l'annexe correspondante de l'Accord EEE. Ceci est essentiel dans le maintien du principe d'homogénéité de l'EEE. Les modifications de l'Accord EEE doivent assurer que le texte est aussi proche que possible de la législation adoptée par l'UE, afin de permettre une application simultanée dans la Communauté et dans les États de l'AELE. Les États de l'EEE-AELE peuvent réclamer une consultation sur des questions d'intérêt préoccupantes. Les États de l'EEE-AELE peuvent négocier des adaptations à la législation communautaire lorsque ceci s'avère nécessaire au vu de circonstances spéciales et est approuvé par les deux parties.

[458] *Pollution Control Act, Act of 13 March 1981 No.6 Concerning Protection Against Pollution and Concerning Waste.* La traduction est basée sur le texte de loi tel qu'il existait le 20 juin 2003 et apparaît sur le site du gouvernement norvégien. [https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/pollution-control-act/id171893/]

[459]Regulation no 931of June 1, 2004 qui transpose en droit norvégien plusieurs Directives européennes, dont la Directive 2004/107/CE.Voir : *Pollution Regulations*, sur le site de la *Norwegian Environment Agency*.

base pour la présente étude, même si leur traduction dans la langue anglaise remonte respectivement à 2003 et 2012[460].

La réglementation norvégienne dit expressément que « les mesures nécessaires doivent être mises en œuvre pour garantir que la concentration de la pollution dans l'air extérieur ne dépasse pas les valeurs cibles énumérées ci-dessous dans les délais impartis, à condition que cela n'implique pas des coûts supplémentaires disproportionnés ». [traduction du texte anglais], ce qui reproduit assez clairement la philosophie de la Directive 2004/107/CE qui distingue entre valeur limite et valeur cible, cette dernière n'ayant pas de force légale contraignante.

Nous reproduisons ci-dessous les dispositions de la section 7.7 du chapitre 7 du règlement, intitulé « *Local air quality* ».

Target values[461]

Necessary measures shall be implemented to ensure that the pollution concentration in outdoor air does not exceed the target values listed below within the given deadlines, provided that this does not involve disproportionately great additional costs.

Components	Averaging period	Target values	Date by which target values is to be met
Particulate matter PM2,5	Calendar year	25 ng/m^3	1 January 2010
Arsenic	Calendar year	6 ng/m^3	1 January 2013
Cadmium	Calendar year	5 ng/m3	1 January 2013
Nickel	**Calendar year**	**20 ng/m3**	**1 January 2013**
Benzo(a)pyrene	Calendar year	1 ng/m3	1 January 2013

[460] Ce sont ces textes qu'on retrouve actuellement sur les sites officiels du gouvernement norvégien et de la *Norwegian Environment Agency*. Nous avons essayé d'obtenir des traductions plus récentes auprès de la *Norwegian Environment Agency* par envoi d'un courriel spécial à cet effet, en date du 1er avril 2018.Nous avons reçu l'assurance que la réglementation était à jour (courriel en date du 4 avril 2018 de Mme Line Merete Karlsøen, Advicer, Section for Transport and Air Quality de la Norwegian Environment Agency).

[461] L'art. 7 (2a) définit *target value* comme étant « le niveau de concentration dans l'air extérieur qui doit être atteint lorsque cela n'entraîne pas de coûts supplémentaires disproportionnés, voir la section 7-7.

On y précise que les concentrations d'arsenic, de cadmium, de nickel et de benzo (a) pyrène sont calculées sur la base de la teneur totale dans la fraction PM_{10}, en moyenne sur une année civile.

11.5 Mécanisme d'application

Pour l'essentiel, le régime mis en place par la Norvège pour surveiller le respect de la norme nickel est une transposition des standards contenus dans la Directive 2004/107/CE : nombre minimal de stations de mesure, seuils d'évaluation inférieur et supérieur et mesures de redressement. Comme il s'agit d'une valeur cible, la réglementation est nécessairement moins rigoureuse que celle mise en oeuvre pour les valeurs limite

11.5.1 Stations de mesure

L'Agence norvégienne pour l'environnement doit assurer la mise en place de stations de mesure pour effectuer des mesures et / ou des calculs en contexte régional. Afin d'évaluer la qualité de l'air liée aux valeurs cibles, le nombre minimal de stations de mesure permanentes pour chaque substance est déterminé en fonction de l'importance de la population; pour le nickel, ce nombre joue entre 1 et 2.

Population of an agglomeration or zone (thousands)	If concentrations exceed the upper assessment threshold		For concentrations between the upper and lower evaluation threshold	
	Arsenic, cadmium, nickel	Benzo(a)-pyrene	Arsenic, cadmium, nickel	Benzo(a)-pyrene
0 749	1	1	1	1
750 – 1,999	2	2	1	1
2,000 3,749	2	3	1	1

Indépendamment des niveaux de concentration, l'Agence norvégienne pour l'environnement doit veiller à ce que des stations soient établies pour la surveillance des mesures indicatives de l'arsenic, du cadmium, du nickel et autres polluants et qu'une station devrait être établie tous les 100 000 km^2.

Par ailleurs, pour l'arsenic, le cadmium, le nickel et le benzo (a) pyrène (B (a) P), les exigences relatives à la mesure de la qualité de l'air pour le nickel doivent être fondées sur les seuils d'évaluation suivants, soit 14ng/m^3 pour le seuil d'évaluation supérieur (moyenne annuelle) et 10ng/m^3 pour le seuil d'évaluation inférieur

Pollution component	Upper assessment threshold (annual mean)	Lower assessment threshold (annual mean)
Arsenic	3.6 ng/m3	2.4 ng/m3
Cadmium	3 ng/m3	2 ng/m3
Nickel	**14 ng/m3**	**10 ng/m3**
B(a)P	0.6 ng/m3	0.4 ng/m3

Dans les grandes zones urbaines et dans les autres zones où le seuil d'évaluation inférieur est dépassé, des mesures fixes doivent être effectuées; là où les concentrations sur une période représentative se situent entre les seuils d'évaluation supérieur et inférieur, le nombre de stations de mesure peut être réduit si une combinaison de mesures et de calculs de modèles est utilisée; là où les concentrations sont inférieures au seuil d'évaluation inférieur, il suffit d'utiliser des calculs ou des techniques de modélisation pour l'estimation objective afin d'évaluer la qualité de l'air.

Si les mesures d'évaluation de l'air présentent un risque de dépassement de la valeur cible, la municipalité doit procéder à une analyse pour estimer la nature des mesures qui seraient nécessaires pour revenir en dessous de la valeur cible. La proposition de la municipalité, accompagnée de tout le dossier historique, est envoyée à l'Agence norvégienne de l'environnement. Les décisions prises par l'Agence de l'environnement peuvent faire l'objet d'un appel auprès du ministère du climat et de l'environnement.

11.6 Responsabilité

Aux termes de l'art. 7.3 du Règlement, le propriétaire d'une installation qui contribue substantiellement au risque de dépasser la valeur cible de 20ng/m_3 doit s'assurer que des mesures nécessaires, qui n'impliquent pas de coûts supplémentaires disproportionnés, sont prises pour s'assurer du respect de la réglementation[462]. Dans certains cas prévus par la loi et pour les

[462] Section 7,3- *The owner of a plant that contributes substantially to the risk of exceeding the target values listed in Section 7-7, shall ensure that necessary measures, that do not involve disproportionately great additional costs, are taken to ensure that the target values are complied with. For plants that are required to adopt the*

installations qui sont tenues d'adopter la meilleure technologie disponible, l'application de mesures supplémentaires peut être ordonnée, en plus des MTD. La réglementation précise que seules les émissions créées localement doivent être prises en compte pour déterminer si une source contribue substantiellement au dépassement de valeurs limite ou valeurs cible.

En vertu de la loi norvégienne, ce sont les municipalités qui sont investies de la gestion au quotidien de la qualité de l'air ambiant. La municipalité peut donner les ordres nécessaires pour s'assurer que les exigences réglementaires sont respectées, notamment rendre des ordonnances pour que des mesures soient prises pour garantir le respect des exigences des valeurs limite et des valeurs cible. Elle peut encore imposer une amende, payable à l'État. L'Agence pour l'environnement peut également imposer une sanction liée aux décisions prises en vertu de la loi.

Si une pollution locale crée un risque pour la santé des personnes, le droit norvégien reconnaît à toute personne intéressée la possibilité d'obtenir une injonction pour faire cesser une telle nuisance[463]

11.7 Problèmes russo-norvégiens

Il existe en Russie, dans la région de Mourmansk, à proximité de la frontière norvégienne, une grande activité minière; les villes de Zapoliarny et de Nikel (complexe Pechenganickel) sont particulièrement reconnues pour leurs fonderies de nickel qui émettent dans l'air ambiant du SO_2 et des métaux lourds (fer, manganèse, cuivre, plomb et nickel). Ce sont les émissions de dioxyde de soufre qui causent le plus grand problème environnemental mais les émissions de métaux lourds sont surveillées de près.

---

best available technology (BAT) pursuant to Section 11 of the Pollution Control Act, the authority that has given a permit may order the implementation of further measures over and above BAT.

[463] Hans Christian Bugge, *Environmental law in Norway*, Kluwer Law International, The Netherlands, 2011, p.109

Source: WikipediaCo[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geographical_scope_of_the_Norwegian-Russian agreement on local border traffic.gif] et [https://en.wikipedia.org/wiki/Norway%E2%80%93Russia_border].

La moyenne quotidienne maximale admissible de concentration de nickel en Russie est de 1000ng/m^3 (1 ug/m^3) et c'est cette norme qui est approuvée en tant que norme sanitaire et d'hygiène à long terme[464]. En Russie, les moyennes quotidiennes sont données pour les concentrations de métaux dans les particules sans division en fractions. On a mesuré des taux de concentration de 260ng/m^3(026ug) à Zapoliarny en 2015 et de 298ng/m^3(0,298ug) à Nickel au cours de la même année[465]. Ces émissions ont des impacts sur la qualité de l'air ambiant dans cette région frontalière, sans pour autant excéder les normes légales de chaque pays. Il est admis de part et d'autre de la frontière que les deux pays ont des perceptions différentes sur les niveaux de concentrations des métaux lourds et de leurs effets potentiels sur la santé humaine.

[464] Maximum allowable concentrations (MAC) of heavy metals in the ambient air of populated areas of Russia. Voir: Norwegian Environment Agency/NILU, *Russian-Norwegian ambient air monitoring in the border areas Updated joint report 2010 – 2015*, p.6. L'évaluation de la qualité de l'air est effectuée conformément à la norme sanitaire GN 2.1.6.1338-03 "Concentrations maximales admissibles (MAC) des polluants dans l'air ambiant dans les zones habitées. [http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M761/M761.pdf].

[465] *Id.*, p.18.

BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE

Documents légaux

Décision du comité mixte de l'EEE No 34/2007 du 27 avril 2007 modifiant l'annexe XX (Environnement) de l'accord EEE [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:22007D0034&from=EN].

Décision du Comité mixte de l'EEE No 121/2011 du 21 octobre 2011 modifiant l'annexe XX (Environnement) de l'accord EEE [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:22011D0121&from=FR].

Regulations relating to pollution control (Pollution Regulations). Note: une traduction officieuse de la réglementation norvégienne.

Norwegian Environnment Agency, Legislation / Regulations / Pollution Regulations / Chapter 7 [http://www.miljodirektoratet.no/en/Legislation1/Regulations/Pollution-Regulations/Chapter-7/

Accord sur l'Espace économique européen - Acte final - Déclarations communes - Déclarations des gouvernements des États membres de la Communauté et des États de l'AELE - Arrangements - Procès-verbal agréé - Déclarations de l'une ou de plusieurs des parties contractantes à l'accord sur l'espace économique européen. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:21994A0103(01)].Note: Norwegian Asthma and Allergy Association c. Norway.

EFTA Surveillance Authority, *Letter of formal notice for non-compliance with the limit values for NO_2, PM_{10} and SO_2; and for non-compliance with the action plan obligation and measurement obligations in Directive 2008/50iEC*, Brussels, 6 November 2013 Case Nos: 70550, 70784 EventNo:641736 Dec. No: 427ll3lCOL [http://www.eftasurv.int/media/public-documents/641736.pdf].

Rapports officiels

Agence européenne pour l'environnement, *L'environnement en Europe. État et perspectives 2015 Synthèse*. [http://www.transition-europe.eu/sites/default/files/publications/files/soer-synthesis2015-fr.pdf].

The EEA Agreement and Norway's other agreements with the EU Meld. St. 5 (2012 2013) Report to the Storting (White Paper) Recommendations of the Ministry of Foreign Affairs of 12 October 2012, approved by the Council of State on the same day. (Government Stoltenberg II) [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/ud/vedlegg/europa/nou/meldst5_ud_eng.pdf]

Norwegian University of science and technology, *Atmospheric deposition of heavy metals in Norway, 2015* [http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M594/M594.pdf].

UNEP, Norway air quality policies.
[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17075/Norway.pdf?sequence=SFT, *Air*

Pollution Effects in the Norwegian Russian Border Area 1860-2002, 2002[ww.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/internasjonalt/1860/ta1860.pdf].

Norwegian Environment Agency, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, annual report 2013,* 2014 [http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M202/M202.pdf].

Norwegian Environment Agency / NILU, *Russian-Norwegian ambient air monitoring in the border areas Updated joint report 2010 – 2015*[www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M761/M761.pdf].

Norwegian Environment Agency, *Informative Inventory Report (IIR) 2014. Norway. Air Pollutant Emissions 1980-2012* [http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M125/M125.pdf]. Note : le nickel n'est pas couvert.

Norwegian Environment Agency, *Informative Inventory Report (IIR) 2018. Norway. Air Pollutant Emissions 1990-2016,* [http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M967/M967.pdf].Note; le nickel n'est pas couvert par ce rapport.

Norwegian Environment Agency, *Russian-Norwegian ambient air monitoring in the border areas, 2015* [http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M322/M322.pdf]
Norwegian Environmental Agency/ NILU, *Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation. Annual Report 2016,* [https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2461410/17-2017%2bHMPOP2016_MilDir_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y].

Doctrine

Hans Christian Bugge, *Environmental law in Norway,* Kluwer Law International, The Netherlands, 2011.

Martine D. Hansen et al., "The Impact of a Nickel-Copper Smelter on Concentrations of Toxic Elements in Local Wild Food from the Norwegian, Finnish, and Russian Border Regions" [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5551132/].

Ministère des affaires étrangères de la Norvège, *La Norvège et l'UE, 2015* [https://www.norway.no/contentassets/a3121ce4ed884a368474d319ffb0e3d4/la_norvege_et_l_ue_2015.pdf] EFTA/AELE, « L'espace économique européen ». Fact sheet of the European free trade association", December 2005 [http://www.efta.int/media/publications/fact-sheets/EEA-factsheets/FACTSHEETFRENCHwebversion.pdf].

EFTA, *The Basic Features of the EEA Agreement*,[http://www.efta.int/eea/eea-agreement/eea-basic-features#13].

SNC·LAVALIN

Revue du cadre réglementaire relatif à l'industrie du nickel
Volet air ambiant

Ministère de l'Économie et de l'Innovation

Environnement et géosciences

Novembre | 2018

Rapport final - Rev00
Ref. Interne 653559

SNC-Lavalin GEM Québec inc.
360, rue St-Jacques Ouest, 16e étage
Montréal (Québec) Canada H2Y 1P5
514-393-1000 514.392.4758

Revue du cadre réglementaire relatif à l'industrie du nickel
Volet air ambiant

Ministère de l'Économie et de l'Innovation

Préparé par

Simon Piché, ing. Ph. D.
Ingénieur en qualité de l'air
Environnement et géosciences
Ingénierie des infrastructures

vérifié par :

Robert Auger, ing. M. Sc. A.
Directeur de projet
Environnement et géosciences
Ingénierie des infrastructures

N/Dossier n° : 653559
N/Document n° : Rapport final – Rev00

Novembre 2018

SNC-Lavalin GEM Québec inc.
360, rue St-Jacques Ouest, 16e étage
Montréal (Québec) Canada H2Y 1P5
514-393-1000 514.392.4758

Le 27 novembre 2018 CONFIDENTIEL

À l'attention de : M. Robert Marquis, géologue
Président-directeur-général
Institut national des mines
125, rue Self
Val-d'Or (Québec) J9P 3N2

Objet : Revue du cadre réglementaire de l'industrie du nickel
Volet air ambiant
Rapport final – Rev00
Notre dossier : 653559

Monsieur,

Veuillez trouver ci-joint la version finale de notre rapport concernant le volet air ambiant de la revue du cadre réglementaire de l'industrie du nickel. Ce rapport a été préparé par des experts de SNC-Lavalin, opérant sous l'entité juridique SNC-Lavalin GEM Québec inc. (« SNC-Lavalin »), dans le cadre de la revue mentionnée en titre.

Cette version finale inclut entre autres en Annexe A l'analyse des données de nickel dans les PST mesurées par Canadian Royalties au camp Expo du projet Nunavik Nickel.

Nous espérons le tout à votre satisfaction et nous vous prions d'accepter, monsieur, l'expression de nos sentiments distingués.

SNC-Lavalin GEM Québec inc.

Robert Auger
Directeur de projet

Environnement et géosciences
Infrastructures

RA/mh
p.j.

Avis au lecteur

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés par SNC-Lavalin GEM Québec inc. (SNC-Lavalin) exclusivement à l'intention du **Ministère de l'Économie et de l'Innovation** (le Client), qui fut partie prenante à l'élaboration de l'énoncé des travaux et en comprend les limites. La méthodologie, les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'énoncé des travaux et assujettis aux exigences en matière de temps et de budget, telles que décrites dans l'offre de services et/ou dans le contrat en vertu duquel le présent rapport a été émis. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers est la responsabilité exclusive de ce dernier. SNC-Lavalin n'est aucunement responsable de tout dommage subi par un tiers du fait de l'utilisation de ce rapport ou de toute décision fondée sur son contenu.

Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport (i) ont été élaborés conformément au niveau de compétence normalement démontré par des professionnels exerçant des activités dans des conditions similaires de ce secteur, et (ii) sont déterminés selon le meilleur jugement de SNC-Lavalin en tenant compte de l'information disponible au moment de la préparation du présent rapport. Les services professionnels fournis au Client et les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport ne font l'objet d'aucune autre garantie, explicite ou implicite. Les conclusions et les résultats cités au présent rapport sont valides uniquement à la date du rapport et peuvent être fondés, en partie, sur de l'information fournie par des tiers. En cas d'information inexacte, de la découverte de nouveaux renseignements ou de changements aux paramètres du projet, des modifications au présent rapport pourraient s'avérer nécessaires.

Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble, et ses sections ou ses parties ne doivent pas être vues ou comprises hors contexte. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, cette dernière prévaudrait. Rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique.

Le contenu du présent rapport est de nature confidentielle et exclusive. Il est interdit à toute personne, autre que le Client, de reproduire ou de distribuer ce rapport, de l'utiliser ou de prendre une décision fondée sur son contenu, en tout ou en partie, sans la permission écrite expresse du Client et de SNC-Lavalin.

Pour les besoins de ce rapport, les dénominations actuelles des ministères concernés sont utilisées, à moins de références précises à des documents.

Équipe de travail

Représentant le MÉI

Robert Marquis, géologue	PDG Institut des mines

SNC-Lavalin GEM Québec inc.

Robert Auger, ing. M.Sc.A.	Directeur de projet
Simon Piché, ing. Ph. D.	Chargé de projet
Mélanie Hunault	Édition

Sommaire

Les concentrations de nickel mesurées dans l'air ambiant au Québec, que ce soit dans les particules en suspension totales (PST) ou les particules fines (PM_{10}) sont en général basses et représentatives des niveaux mesurés ailleurs dans le monde, lorsqu'il n'y a pas d'installations de nickel à proximité. Pour les deux lieux où des concentrations notables de nickel ont été enregistrées par le passé, soit dans l'Est de Montréal et près du Port de Québec, une évolution à la baisse est observée depuis quelques années, de sorte que la norme journalière est maintenant respectée. La baisse des concentrations dans l'est de Montréal concorde avec les émissions déclarées par les raffineries de Shell (fermée en 2010) et Suncor. L'étude relève qu'une émission totale de 1 t/an de nickel à l'atmosphère par les cheminées des raffineries a suffi à générer des dépassements de la norme de nickel dans les PM_{10} à 5 km de distance. Toutes les mesures des stations gouvernementales sont situées à des lieux qui ne concernent pas l'industrie du nickel, à l'exception d'activités portuaires.

L'Annexe A présente les données de nickel dans les PST mesurées par l'entreprise minière à proximité de sa mine à ciel ouvert au Nunavik. Ces données montrent que les valeurs sont le double de tous les indicateurs statistiques les plus élevées jamais mesurées au Vieux–Limoilou. La norme journalière pourrait potentiellement être dépassée 50% du temps, comme c'est aussi le cas aux stations de mesure situées à proximité du complexe de nickel de Vale, à Sudbury.

La norme journalière de nickel dans les PM_{10} de 0,014 µg/m^3 du Québec est sans conteste la plus sévère au monde, en ce qui a trait à sa portée et sa force d'application dans les pays où l'industrie du nickel est présente. Une norme d'air ambiant est plus sévère et contraignante qu'un critère ou une valeur toxique de référence. L'accumulation de dépassements répétés d'une norme pourrait mener à la cessation des activités d'une installation de nickel.

Le développement de la norme québécoise s'est basé sur l'approche californienne et des mêmes études de base sur les souris (Graham, 1979) ayant servi à développer des valeurs toxiques de référence (Reference Exposure Limit) pour les effets non cancérigènes de courte durée (1h: 0,2 µg/m^3 et 8 h: 0,06 µg/m^3). Toutefois, la Californie, où l'industrie du nickel n'est pas présente, a aussi élaboré une valeur toxique de référence annuelle de 0,014 µg/m^3 pour les effets cancérigènes, qui met en lumière la sévérité de la norme québécoise.

Dans les pays occidentaux où est effectuée l'extraction du minerai, très peu de juridictions appliquent un critère ou une norme de nickel dans l'air ambiant. Dans ces mêmes lieux (Australie, Nouvelle-Calédonie, Manitoba, Terre-Neuve, Michigan et tous les pays asiatiques), les concentrations de nickel dans l'air ambiant sont rarement, sinon jamais évaluées par modélisation ou mesurées par des stations d'air ambiant, pour fins d'autorisation et de suivi de nouveaux projets, ni pour l'agrandissement ou pour des modifications à des installations existantes de nickel. Seuls le Québec et l'Ontario appliquent ces paliers d'évaluation.

Deux juridictions se distinguent de par leur souci d'accompagner leurs industries en général, dont celle du nickel: l'Ontario et l'Union européenne. L'Ontario a une approche en trois étapes :

1- Des normes générales et des critères d'air ambiant sont applicables à toutes industries. La norme annuelle générale du nickel est de 0,04 µg/m^3 dans les PST annoncée en 2011 est en vigueur depuis le 1er juillet 2016. Les critères de nickel sont de 0,02 µg/m^3 dans les PM_{10}, ainsi que des critères sur 24 h de 0,2 et de 0,1 µg/m^3 dans les PST et les PM_{10} respectivement.

2- Une industrie peut se prévaloir d'une norme spécifique à ses installations (SSS – Site Specific Standard), valable pour une durée de 10 ans et renouvelable suite à une mise à jour du dossier. Par exemple, la norme annuelle de nickel dans les PST établie pour la minière Vale à Sudbury est de 1 µg/m^3 jusqu'à la fin 2021, date à partir de laquelle la norme pourra être maintenue ou modifiée, suite à une nouvelle demande de Vale.
3- Une démarche de conformité fondée sur le secteur (norme sectorielle) peut être appliquée lorsqu'au moins deux installations dudit secteur sont incapables de se conformer à au moins une norme de qualité de l'air en raison de contraintes techniques ou économiques. C'est le cas des industries du cuivre-nickel et cuivre-zinc, pour lesquelles une norme sectorielle a été édictée le 23 mars 2018. Pour s'en prévaloir, l'industrie doit en faire la demande puis se conformer aux prescriptions techniques de la norme sectorielle basées sur les meilleures pratiques et technologies disponibles pour réduire les émissions atmosphériques. Aucune norme chiffrée n'est alors appliquée, mais un suivi serré est exercé par le ministère de l'environnement et de l'action en matière de changement climatique de l'Ontario (MOECC).

L'Union européenne a adopté une valeur cible annuelle de 20 ng/m^3 pour le nickel dans les PM_{10} entrée en vigueur le 31 décembre 2012. Une valeur cible constitue une concentration maximale dans l'air ambiant qui est fixée sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution de l'air sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble. Elle doit être atteinte dans la mesure du possible, dans un délai déterminé, sans impliquer de mesures entraînant des coûts déraisonnables et/ou disproportionnés. En ce qui concerne les installations industrielles, les valeurs cibles ne devraient pas entraîner des mesures qui aillent au-delà de l'application des meilleures technologies disponibles (MTD) exigée par la directive 96/61/CE relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution ni, en particulier, la fermeture d'installations. Un plan d'action doit être mis en place par l'entreprise pour rectifier la situation, sous un suivi serré des autorités concernées. Le pays doit faire rapport de la situation et du plan d'action à l'Union européenne.

Cette revue présente plusieurs études de cas concernant des industries aux prises avec des dépassements des normes de nickel dans l'air ambiant. Les cas les plus intéressants permettent l'accès aux données d'air ambiant, ce qui permet de vérifier l'ampleur des dépassements si la norme journalière de nickel du Québec était appliquée. Cinq cas se démarquent :

› Sudbury, Ontario, où le réseau de suivi de Vale couvre les métaux (incluant le nickel) dans les PM_{10} (5 stations) et les PST (9 stations) depuis plus de 10 ans. La qualité de l'air s'est améliorée au fil des ans de sorte que le centre-ville de Sudbury est maintenant une des villes avec les plus basses concentrations de particules fines ($PM_{2.5}$) en Ontario. Les concentrations journalières de nickel dans les PM_{10} mesurées à la station du MOECC au centre-ville dépassent présentement la norme journalière du Québec le tiers du temps. Vale a mis en œuvre un plan de réduction des poussières et sera appelée à revoir en profondeur ses pratiques avec la nouvelle norme sectorielle.
› Dans la vallée du Tawe au Royaume-Uni, la valeur cible annuelle de 20 ng/m^3 dans les PM_{10} a été dépassée à une station d'air ambiant de 2011 à 2016. L'application de mesures de mitigation additionnelles à deux usines (raffinerie de nickel et industrie d'alliages) et surtout des mesures sophistiquées en continu réalisées en 2016 qui ont permis d'identifier les sources fautives, ont permis d'abaisser la concentration annuelle à 18,4 ng/m^3 en 2017, sous la cible annuelle. Toutefois la pointe hebdomadaire mesurée était de 188 ng/m^3 et 43% des concentrations hebdomadaires mesurées auraient dépassé la norme journalière du Québec.

- En Norvège, la raffinerie de nickel 'centenaire' Nikkelverk de Kristiansand dépasse la valeur cible annuelle de 20 ng/m^3 dans les PM_{10} depuis 2009, à l'exception de 2011, à la station d'air ambiant située à 300 m du complexe. Cette usine revêt un grand intérêt du fait que l'OMS a dérivé sa ligne directrice sur les effets cancérigènes du nickel à partir des données d'exposition de ses travailleurs et qu'elle est l'une des deux raffineries à partir desquelles les MTD ont été identifiées par la Commission européenne. Un plan d'action par étape a été proposé par Glencore pour baisser les concentrations de nickel dans l'air ambiant. En 2016, les mesures quotidiennes ont dépassé le seuil de 20 ng/m^3 à 17 reprises. Les mesures appliquées en 2017 ont permis de réduire de 10 ng/m^3 les concentrations annuelles de nichel dans les PM_{10}, sans toutefois atteindre la valeur cible annuelle de 20 ng/m^3.
- Port Esperance, dans l'état du Western Australia, est reconnu comme le plus grand port de concentré de nickel de l'hémisphère sud (100 000 à 300 000 tonnes de concentré par an). Le nickel est mesuré dans les PST depuis décembre 2008 alors que la norme journalière applicable est de 0,14 µg/m^3 (140 ng/m^3). Les concentrations ont radicalement baissé depuis que les opérations de manipulation de vrac ont cessé, et que le concentré de nickel est transporté par conteneurs jusqu'à la destination ultime. Depuis deux ans, un système de transbordement des conteneurs à l'intérieur des cales des navires est à l'essai, avec réévaluation prévue en janvier 2019. L'année se terminant au 30 septembre 2017, la valeur journalière maximale atteinte fut de 29 ng/m^3 et près de 60% des mesures étaient égales ou inférieures à 3 ng/m^3.
- La Mine Eagle au Michigan, la seule mine de nickel active aux États-Unis, produit depuis 2014 de 25 000 à 30 000 t/an de concentré, expédié à Sudbury pour y être fondu. La demande de permis (2005) de cette mine souterraine a inclus une étude de dispersion sur divers polluants dont le nickel. Le critère annuel de risque initial, à l'époque de 0,0042 µg/m^3, était respecté à limite de propriété. En 2017, le Michigan a revu ses critères de risque initial et secondaire pour le nickel dans les PM_{10} à 0,0058 µg/m^3 et 0,058 µg/m^3, correspondant respectivement à un cas additionnel de cancer par million et par 100 000 individus et a laissé tomber ses critères de courte durée pour des effets non cancérigènes. Le critère initial s'applique dans le cas d'une revue d'une source nouvelle ou modifiée. Si le critère n'est pas respecté à la limite de propriété, l'installation est réputée conforme si l'ensemble de ses sources d'émission respecte le critère secondaire. Ainsi, le critère secondaire du Michigan se compare directement à la norme québécoise, le Québec considérant toujours l'ensemble des sources d'émission pour un projet minier.

La revue fait état de la norme sectorielle ontarienne de mars 2018 qui établit les meilleures pratiques et les MTD applicables à l'exploitation minière du nickel pour les sources dominantes d'émission de nickel suivantes :

- les aires de stockage;
- la manutention du matériel minier;
- les unités de traitement de minerai;
- les sites de disposition des résidus miniers;
- les puits d'évacuation de l'air des mines souterraines;
- les mines à ciel ouvert;
- le routage.

La revue décrit également les MTD identifiées par l'Union européenne pour la métallurgie du nickel, et plus particulièrement :

- Activités de manutention, stockage et transfert;
- Activités de prétraitement;
- Procédés de transformation pyrométallurgique;
- Procédés de transformation hydrométallurgique.

L'application des MTD est essentielle à la baisse des concentrations de nickel dans l'air ambiant et devrait être un prérequis à l'approbation des nouveaux projets. La mesure la plus importante stipule que tout ce qui est minerai devrait être traité et manipulé à l'intérieur de bâtiments et de convoyeurs fermés avec du dépoussiérage conséquent (le roc extrait devient minerai une fois broyé). Il faut garder à l'esprit que les connaissances évoluent et rester ouverts aux nouvelles technologies. Par exemple, la revue identifie deux mesures qui ne sont pas citées comme des MTD par l'Ontario et l'Union européenne, mais qui pourrait offrir un excellent potentiel de réduction de poussières, soit la trémie de suppression des poussières et le recouvrement de piles de minerai d'une pellicule de cellulose biodégradable formant une croûte prévenant l'érosion éolienne.

En somme, si le Québec tient à conserver son industrie du nickel, il a intérêt à revoir à la hausse sa norme journalière de 0,014 µg/m^3 dans les PM_{10}. Des dépassements occasionnels dans certains cas (mine souterraine ou activité portuaire), plus fréquents dans d'autres cas (ex : mines à ciel ouvert) sont à prévoir pour l'ensemble des activités liées à l'industrie du nickel, malgré l'application des MTD. Une avenue potentielle serait de réinstituer une norme annuelle équivalente à la cible européenne, basée sur un cas additionnel de cancer par environ 200,000 individus. La conformité à une norme journalière basse, même à moins de 0,060 µg/m^3 dans les PM_{10}, restera toujours problématique à proximité d'une installation de nickel, que l'entreprise ait utilisé ou non les MTD pour réduire ses émissions de nickel. Si le maintien d'une norme journalière est souhaitable, il faudra tenir compte de la possibilité (ou il faut accepter) que les concentrations mesurées soient occasionnellement élevées dans l'année. Une avenue possible est de se diriger vers une norme similaire à la norme canadienne sur les particules fines applicable sur la moyenne du 98^{e} centile des trois dernières années, pour offrir une marge de dépassement.

Table des matières

1 Introduction 1
1.1 Objectifs du mandat de SNC-Lavalin 1
1.2 Contenu du rapport 2
1.3 Unités utilisées 2
2 État de la situation de l'air ambiant 3
2.1 Sources de nickel dans l'environnement 3
2.2 Préambule aux résultats d'air ambiant 3
2.3 Nickel dans les PST au Québec 4
2.4 Nickel dans les PM_{10} au Québec 10
2.5 Bruit de fond du nickel en Californie 14
2.6 Europe 14
2.6.1 Bruit de fond du nickel en Norvège 16
3 Revue des normes de nickel dans l'air ambiant 17
3.1 Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 18
3.2 Québec 18
3.2.1 Norme de nickel dans l'air ambiant 18
3.2.2 Domaine d'application 19
3.3 Ontario 19
3.3.1 Contexte réglementaire 19
3.3.2 Norme générale sur la qualité de l'air 20
3.3.3 Norme spécifique à un site 21
3.3.4 Norme technique pour l'industrie du nickel 22
3.4 Autres normes provinciales sur le nickel 24
3.5 Michigan 25
3.6 Californie 26
3.6.1 Cadre réglementaire 26
3.6.2 Analyse de risques toxicologiques pour la santé humaine 27
3.6.3 Détermination des REL 29
3.6.4 Facteur de risque pour le cancer 31
3.7 Texas 31
3.8 Australie 32
3.9 Union Européenne 33
3.9.1 Valeur cible pour le nickel 33
3.9.2 Seuils d'évaluation et stations de mesure 33
3.9.3 Transmission des informations - dépassement de la valeur cible 34
3.9.4 Critères d'air ambiant de la Norvège 35
3.10 Nouvelle-Calédonie 35

3.11 Récapitulation de la revue des normes d'air ambiant 36
3.12 Normes d'émission à l'atmosphère 39
4 Études de cas 40
4.1 3Sudbury, Ontario 40
4.2 Europe 48
4.2.1 Nikkelverk, Norvège 48
4.2.2 Royaume-Uni 51
4.3 Nouvelle-Calédonie 56
4.4 Australie 58
4.4.1 Port Esperance 58
4.4.2 Projet de raffinerie de nickel, Gladstone (Queensland) 63
4.4.3 Projet de nickel Wingellina (Australie de l'ouest) 64
4.5 Michigan 66
5 Méthodes d'atténuation existantes des émissions de nickel 68
5.1 Norme sectorielle ontarienne 69
5.1.1 Aires de stockage 69
5.1.2 Manutention du matériel minier 69
5.1.3 Unité de traitement de minerai 70
5.1.4 Sites de disposition des résidus miniers 70
5.1.5 Puits d'évacuation de l'air des mines souterraines 71
5.1.6 Mine à ciel ouvert 72
5.1.7 Routage 73
5.2 Manutention du vrac 83
5.3 Recouvrement cellulosique des piles de minerai 85
5.4 Meilleures techniques disponibles - métallurgie du nickel 86
5.4.1 Activités de manutention, stockage et transfert 86
5.4.2 Activités de prétraitement 86
5.4.3 Procédés de transformation pyrométallurgique 87
5.4.4 Procédés de transformation hydrométallurgique 87
6 Impacts du cadre réglementaire sur l'industrie du nickel 91
7 Stratégies à préconiser 93

Liste des tableaux

Tableau 1 Statistiques du nickel dans les PST – Stations fermées du MELCC 6
Tableau 2 Statistiques du nickel dans les PST – Stations actives du MELCC 7
Tableau 3 Émissions annuelles (t/an) de nickel déclarées dans l'Est de Montréal 10
Tableau 4 Statistiques du nickel dans les PM_{10} au Québec 11
Tableau 5 Réserves et production mondiale des mines de nickel 17
Tableau 6 Valeurs limites pour le nickel dans l'air ambiant en Ontario (R. 419/05) 21
Tableau 7 Normes spécifiques de site pour le nickel applicables en Ontario 22
Tableau 8 Valeurs cibles et seuils d'évaluation de l'Union européenne - As, Cd, Ni et B(a)P dans les PM_{10} 33
Tableau 9 Critères norvégiens de qualité de l'air ambiant pour les métaux 35
Tableau 10 Tableau récapitulatif des normes et critères de nickel dans l'air ambiant des pays industrialisés occidentaux 38
Tableau 11 Concentrations moyennes annuelles de nickel dans les PM_{10} ($\mu g/m^3$) Stations de mesures de Vale, Sudbury 41
Tableau 12 Émissions de nickel (t/an) à l'atmosphère de Vale, Sudbury (1993-2016) 42
Tableau 13 Statistiques des concentrations sur 24 h de nickel mesurées dans les PM_{10} en 2017 ($\mu g/m^3$) - Stations d'air ambiant de Vale, Sudbury 45
Tableau 14 Concentrations moyennes annuelles de nickel dans les PM_{10} – Zone urbaine de Swansea (UK) 51
Tableau 15 Émissions annuelles rapportées par les industries – Cas Swansea 53
Tableau 16 Mesures d'atténuation mises en œuvre par la raffinerie Vale 54
Tableau 17 Mesures d'atténuation mises en œuvre par l'usine Wall Colmonoy 54
Tableau 18 Mesures d'atténuation – aire de stockage 74
Tableau 19 Mesures d'atténuation – manutention du matériel minier 76
Tableau 20 Mesures d'atténuation – unité de traitement de minerai 79
Tableau 21 Mesures d'atténuation – disposition des résidus miniers 80
Tableau 22 Mesures d'atténuation – mine à ciel ouvert 81
Tableau 23 Mesures d'atténuations – routage 82
Tableau 24 MTD de la Directive européenne relatives à l'atténuation des émissions de poussières et de nickel 88
Tableau 1 Statistiques du nickel dans les PST – Station du complexe Expo – Nunavik Nickel 1

Liste des figures

Figure 1 Évolution des concentrations de nickel dans les PST - Port de Québec 8
Figure 2 Concentrations de nickel dans les PST – Autres stations (ville de Québec) 9
Figure 3 Concentrations de nickel dans les PM_{10} – Montréal (ECCC) 12
Figure 4 Localisation des stations de nickel dans les PM_{10} – Est de Montréal 13
Figure 5 Concentrations de nickel dans les PM_{10} – Vieux Limoilou 14
Figure 6 Concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} en Europe (2015) 15
Figure 7 Concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} (ng/m^3) en Norvège – 2009-2012 16
Figure 8 Localisation des stations d'air ambiant de Vale, Sudbury 40
Figure 9 Contribution des sources d'émission aux concentrations annuelles modélisées de Ni dans les PST avant et après projet – Raffinerie de Vale 44
Figure 10 Statistiques de nickel dans les PM_{10} (2017) - Stations d'air ambiant de Vale 45
Figure 11 Concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} Station MOECC, rue Lisgar, Sudbury 46
Figure 12 Concentrations de $PM_{2.5}$ sur 24 h (98^{e} centile de 3 ans consécutifs) - 2016 47
Figure 13 Concentrations de $PM_{2.5}$ - moyennes annuelles (3 ans consécutifs) - 2016 47
Figure 14 Concentrations journalières de nickel dans les PM_{10} – Station Nikkelverk 48
Figure 15 Concentrations moyennes annuelles modélisées de nickel dans l'air ambiant autour de la raffinerie Nikkelverk (ng/m^3) 50
Figure 16 Zones de dépassement de la valeur cible de nickel – Zone urbaine de Swansea, UK 52
Figure 17 Portrait des concentrations de nickel (2011) dans les vallées Swansea et Tawe 53
Figure 18 Historique des concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} en Nouvelle-Calédonie 57
Figure 19 Localisation des stations d'échantillonnage d'air ambiant, Port Esperance 60
Figure 20: Concentrations sur 24 h de nickel dans les PST, Port Esperance (2008-2016) 61
Figure 21 Chargement par système rotatif basculant, Port Esperance 62
Figure 22 Trémie de suppression de poussière 84
Figure 23 Recouvrement cellulosique de piles de minerais 85

Liste des annexes

Annexe A Canadian Royalties – Ni dans les PST au Complexe Minier Expo

Acronymes

AAQO	Ambiant Air Quality Objectives (Alberta)
AAQS	Ambient Air Quality Standard (Ontario, Terre-Neuve)
ADMGO	Air Dispersion Modelling Guideline for Ontario
AERMOD	American Meteorological Society / Environmental Protection Agency Regulatory Model
AIM	American Iron & Metals
AAQC	Ambient Air Quality Criteria (Critère d'air ambiant)
AAQO	Ambient Air Quality Objective (Objectif de qualité de l'air)
AAQS	Ambient Air Quality Standard (Norme d'air ambiant)
BMDL	Benchmark Dose lower confidence Limit
CAAQS	Canadian Ambient Air Quality Standard (Norme canadienne d'air ambient)
CAPCOA	California Air Pollution Control Officers Association
CARB	California Air Resources Board
BAT	Best Available Technology
CAT	Contaminant atmosphérique toxique
CCR	Canadian Copper Refinery
CE	Communauté européenne
CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
DEQ	Michigan Department of Environment Quality, Air Quality Division
DIMENC	Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie de la Nouvelle-Calédonie
DSH	Dust Suppression Hopper
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
EEA	European Environmental Agency
EIE	Étude d'impact environnemental
EPA	Environmental Protection Agency
ESDM	Emission Summary and Dispersion Modelling (Ontario)
ESL	Effects Screening Level (Texas)
GIASO	Guideline for the Implementation of Air Standards in Ontario

GPNL	Gladstone Pacific Nickel Limited
HRAP	Hot Spots Analysis and Reporting Program (Californie)
HRA	Health Risk Assessment
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (France)
INRP	Inventaire national des rejets polluants
IPA	Indigenous Protected Area (Australie)
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control (Commission européenne)
IRSL	Initial Risk Screening Level (Michigan)
KCL	King's College of London
LD	Limite de détection
MDDELCC	Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux Changements climatiques
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux Changements climatiques
MÉI	Ministère de l'Économie et de l'Innovation
MOECC	Ministère de l'environnement et de l'action en matière de changement climatique de l'Ontario
MTD	Meilleure technologie disponible
NEA-MTD	Niveaux d'émission associés aux meilleures techniques disponibles (Commission européenne)
NILU	Institut de recherche atmosphérique norvégien
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (US)
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
NSW EPA	New South Wales (État australien) Environmental Protection Authority
NTP	National Toxicology Program (US)
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment (Bureau d'évaluation des dangers à la santé de la Californie)
OMA	Ontario Mining Association
OMS (WHO)	Organisation mondiale de la santé (World Health Organization)
RAA	Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère
REL	Reference Exposure Levels (Californie)
SCIAN	Système de Classification des Industries de l'Amérique du Nord
SRSL	Secondary Risk Screening Level (SRSL)
SSS	Site Specific Standard (Norme d'air ambiant applicable à un site - Ontario)
TBACT	Toxic Best Available Control Technology (meilleure technologie de contrôle disponible pour les émissions de toxiques - USA)

TCEQ	Texas Commission on Environment Quality
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance
UK DEFRA	United Kingdom Department of Environment, Food & Rural Affairs
URS	United Research Services (entreprise acquise par AECOM)
URT	Upper Risk Threshold – Ontario (limite de risque supérieure)
USGS	United States Geological Survey
VC	Valeur cible (Commission européenne)
VL	Valeur limite (Commission européenne)
VTR	Valeur toxique de référence
WA DEC	Western Australia (État australien) Department of Environment and Conservation
WA DoH	Western Australia Department of Health
WA DWER	Western Australia Department of Water and Environmental Regulation

Symboles et unités

B(a)P	Benzo(a)pyrène
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
mg/Nm^3	Milligrammes par mètre cube normal de gaz (à une température de 0 ^{O}C et une pression de 101,325 kPa)
ng/m^3	Nanogramme (10^{-9} g) par mètre cube d'air
$PM_{2.5}$	Particules de moins de 2,5 microns
PM_{10}	Particules de moins de 10 microns
PST	Particules en suspension totales
µg/m^3	Microgramme (10^{-6} g) par mètre cube d'air

1 Introduction

Le comité interministériel formé pour l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel en lien avec la qualité de l'air (le comité) a mandaté des consultants externes pour les conseiller sur la stratégie à préconiser afin que la (les) norme(s) de nickel dans l'air ambiant décrétée(s) permette(nt) de préserver, notamment la santé publique et le développement économique.

Dans ce contexte, le comité compte réaliser une analyse comparative de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel à l'échelle mondiale en lien avec la qualité de l'air en vue de répondre notamment aux questions suivantes :

- Comment se compare les normes du nickel d'air ambiant à l'échelle mondiale?
- En considérant l'ensemble des composés du nickel, quelle(s) norme(s) serait(aient) protectrice(s) pour la santé?
- Quels sont les impacts économiques de l'industrie du nickel sur le Québec et ses régions?
- Quels sont les impacts économiques de la norme actuelle sur le Québec et ses régions?
- Comment se compare le cadre réglementaire de l'industrie du nickel au Québec à celui d'autres juridictions où l'industrie est présente?

Les experts de SNC-Lavalin ont été pressentis par le comité pour leur expertise en qualité de l'air, leur connaissance du processus d'autorisation des projets industriels au Québec et pour leur indépendance par rapport à l'industrie du nickel.

1.1 Objectifs du mandat de SNC-Lavalin

Les travaux à réaliser par SNC-Lavalin portent sur le volet « air ambiant » de la revue de l'encadrement de l'industrie du nickel au niveau international et dans les autres provinces liées à cette industrie. Les points suivants du rapport sont élaborés en fonction des données et sources disponibles:

- État de situation de la qualité de l'air ambiant pour le nickel au Québec
  - Portrait des concentrations de nickel dans l'air ambiant au Québec et comparaison avec la norme actuelle du nickel au Québec (le Comité a fourni les données brutes disponibles sur dix ans des stations du réseau de surveillance de la qualité de l'air du MELCC et de celles exploitées par Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC))
  - Établissement des statistiques descriptives par station-année (stations du MELCC et d'ECCC)
  - Évolution temporelle des concentrations de nickel au cours des 10 dernières années. Des courbes ont été préparées pour les données disponibles.
  - Comparaison des concentrations ambiantes avec la norme actuelle en considérant l'encadrement réglementaire actuel (Règlement sur l'Assainissement de l'Atmosphère (RAA) et Guide pour les projets miniers).
  - Comparaison des méthodes d'application des normes d'air ambiant pour l'industrie du nickel au Québec et ailleurs dans le monde (incluant la Californie)
- Normes ou critères applicables dans d'autres juridictions (monde industrialisé occidental);
- Exigences de modélisation et de suivi ;
- Distinction entre les nouvelles sources et les sources existantes;
- Prise en compte de la proximité de la population;

- Endroits où le respect de la norme est exigé (limite de propriété, récepteurs sensibles, etc.).
  - Autres exigences ayant un impact sur l'air ambiant :
  - Normes d'émissions à la source;
  - Mesures de mitigation obligatoires;
  - Mesures appliquées lors du dépassement des normes de nickel dans l'air ambiant;
  - Règles de bonnes pratiques.
  - Portrait de l'industrie du nickel dans les juridictions ciblées incluant :
  - Types d'activités et les sources de nickel (ex.: mines, affineries, activités portuaires, poste de transbordement et de manutention, etc.);
  - Méthodes d'exploitation.
- Un tableau synthèse des normes et critères d'air ambiant et des tableaux synthèses des mesures d'atténuation des émissions de poussières applicables pour l'industrie du nickel;
- Un sommaire exécutif.

1.2 Contenu du rapport

Le présent rapport comprend les résultats de la revue sur le volet « air ambiant », incluant un sommaire exécutif et un tableau synthèse. Plus spécifiquement, le rapport présente :

- la revue de littérature consultée pour ces travaux;
- le portrait des concentrations de nickel au Québec;
  - le portrait de l'industrie du nickel à l'échelle mondiale;
  - l'analyse comparative des méthodes d'application des normes et des exigences des juridictions ciblées;
  - l'analyse des impacts du cadre réglementaire actuel sur l'industrie du nickel au Québec;
  - les stratégies à préconiser découlant de ces travaux;
  - Une bibliographie des ouvrages et sites web gouvernementaux consultés;
- En annexe, une présentation power point présentant la démarche, les conclusions et les suggestions découlant de ces travaux.

1.3 Unités utilisées

Les concentrations de nickel dans les particules, que ce soit des particules en suspension totales ou des particules de moins de 10 microns (PM_{10}) peuvent être exprimées en microgrammes par mètre cube ($\mu g/m^3$) ou en nanogrammes par mètre cube (ng/m^3). Nous avons fait le choix éditorial de conserver les unités utilisées par les diverses juridictions.

2 État de la situation de l'air ambiant

2.1 Sources de nickel dans l'environnement

Le nickel et les composés du nickel sont des commodités minérales de valeur en raison de la résistance du nickel à la corrosion et qu'il se marie bien avec le fer, pour faire des alliages nickel-fer. Les principales sources de nickel à l'atmosphère sont les suivantes (TCEQ, 2011):

- Sources de production (exploitation et raffinage du minerai de nickel, raffinage du matte de nickel);
- Sources de combustion et d'incinération (unités de combustion du charbon et de l'huile dans les secteurs des utilités, industriels, commerciaux et résidentiels, et incinérateurs municipaux de déchets et de boues de traitement d'eau);
- Sources métallurgiques de hautes température (fabrication d'acier et d'alliages de nickel, fusion de nickel secondaire, fusion de métaux non ferreux, et fonderies de fer et d'acier);
- Sources chimiques et catalytiques (fabrication de produits chimiques au nickel, fabrication de piles nickel-cadmium), et production, utilisation et récupération de catalyseurs;
- Sources diverses (combustion du charbon, raffinage du pétrole, récupération de co-produits, fabrication de ciment, fours à coke, minage / fraisage d'amiante et tours de refroidissement, pyrolyse du plastique usé).

Les sources mobiles qui émettent du nickel sont considérés comme de plus petits contributeurs, et les émissions proviennent de l'usure du moteur et des impuretés contenues dans l'huile à moteur ou les additifs.

Les études relatives au nickel en milieu de travail distinguent quatre formes de nickel :

- Métallique (Ni),
- Insoluble (oxyde de nickel – NiO)
- Soluble (incluant le sulfate de nickel – $NiSO_4$, le chlorure de nickel – $NiCl_2$, et l'hexahydrate de sulfate de nickel – $NiSO_4.6H_2O$)
- Sulfudique (sous-sulfure de nickel – Ni_3S_2)

Cette dernière forme est prouvée cancérigène et est principalement associée aux activités de raffinage et d'exploitation du minerai de nickel.

2.2 Préambule aux résultats d'air ambiant

Les métaux dans les particules de moins de 10 microns (PM_{10}) ou les particules en suspension totales (PST) sont analysés à partir des particules prélevées sur les filtres des échantillonneurs à grand débit (Hi Vol) à tête sélective qui séparent les particules en fonction de leur diamètre. C'est ensuite par spectrométrie que le poids du nickel est extrait des PST ou PM_{10} collectées sur le filtre. Les valeurs obtenues sont exprimées en concentrations moyennes sur 24 heures, ce qui correspond à la durée du prélèvement. De façon générale, les prélèvements sont effectués à des intervalles de six jours, comme c'est le cas partout au Canada et aux États-Unis. L'échantillonnage aux six jours au cours d'une année est considéré représentatif de la qualité de l'air d'un milieu.

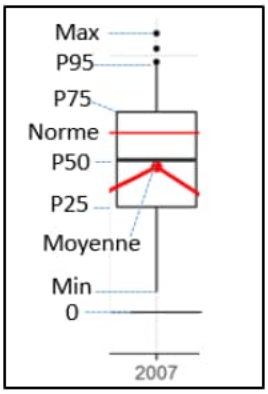
Ce n'est pas nécessairement le cas ailleurs dans le monde. Ainsi, au Royaume-Uni et en France, les prélèvements sont généralement réalisés sur une base hebdomadaire, l'objectif étant de se comparer à la cible annuelle en faisant la moyenne des 52 concentrations hebdomadaires. Toutefois, dès qu'il faut investiguer des dépassements de la cible, les autorités reviennent aux prélèvements sur une base journalière, ou à des concentrations journalières effectuées à tous les trois jours.

Toutes les mesures de nickel dans les particules sont réalisées selon des méthodes standards et reconnues. Les analyses du nickel dans l'air des stations du MELCC sont réalisées sur des échantillons de PST ou de PM_{10} par le laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Les filtres contenant les particules sont soumis à une digestion dans une solution d'acide nitrique et d'acide sulfurique et le nickel est quantifié par ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry; CEAEQ, 2013).

ECCC utilise des préleveurs séquentiels automatiques de particules en suspension de marque Partisol. Le préleveur permet par l'intermédiaire d'un séparateur dichotomique de collecter simultanément les fractions PM_{10} et $PM_{2.5}$ des particules sur des filtres. L'analyse des métaux est faite par fluorescence aux rayons X. Les fichiers de données de nickel d'ECCC séparent les concentrations de nickel dans les $PM_{2.5}$ de celles sur l'intervalle 2,5 – 10 microns. Celles-ci sont additionnées pour obtenir la concentration de nickel dans les PM_{10}. À des intervalles réguliers, des filtres blancs sans être exposés au débit de prélèvement, subissent le même protocole de pose et de collecte que les filtres exposés. L'analyse du nickel sur ces filtres permet de dépister d'éventuelles contaminations, pouvant se produire lors des différentes étapes de transport ou d'installation des filtres. Les blancs de transport, de terrain et de laboratoire n'ont pas été soustraits des résultats, ceux-ci ayant peu d'impact sur les valeurs et étant souvent nuls de toute façon.

Les statistiques des données disponibles de nickel dans les PM_{10} et les PST ont été analysées entre 2011 et 2015 aux 26 stations de mesure du MELCC. Les concentrations de nickel dans la fraction PM_{10} sont analysées à la station du Vieux-Limoilou, à Québec. Les données de PM_{10} ont été analysées de 2006 à 2015 aux six stations d'ECCC.

Pour chaque année disponible, les statistiques analysées aux tableaux 1, 2 et 4 comprennent le nombre de données valides, la moyenne, la médiane, le maximum, les centiles 50%, 75%, 90% et 95%, de même que le nombre de valeurs dépassant la norme journalière pour le nickel dans les PM_{10}. Des graphiques (Figures 1 à 4) ont été préparés sur les statistiques calculées à partir des données brutes pour les stations pertinentes, et présentées selon la figure ci-contre. Le centile 25% est ajouté aux statistiques et au-delà du centile 95%, les valeurs discrètes sont identifiées. Tout indicateur statistique sur la ligne du '0' signifie qu'il est sous la limite de détection.



2.3 Nickel dans les PST au Québec

Entre 2010 et 2015, le MELCC a exploité 26 stations de mesure au Québec pour lesquelles les concentrations de nickel dans les PST ont été analysées. Un total de 14 stations sont toujours actives. Parmi celles-ci, trois stations de PST ont pour objectif principal de suivre l'impact d'activités en lien avec l'industrie du nickel situées près du port de Québec où du minerai de

nickel est transbordé. Les 12 stations fermées avaient répondu à des besoins ponctuels et particuliers tels que :

› le suivi d'activités industrielles et des travaux de réhabilitation suite à l'accident ferroviaire à Lac-Mégantic
› une caractérisation de la qualité de l'air à Sept-Îles dans la foulée du projet de Mine Arnaud
› le Projet Mercier dans le cadre du projet de réhabilitation des lagunes de Mercier
› une des stations a été redéployée à proximité de l'ancienne station l'Église à Québec

Le tableau 1 préparé pour les stations de mesure fermées montre que des concentrations très basses avaient été observées dans les années précédant la fermeture des stations de Sept-Îles, Sherbrooke et Lac Mégantic, ce qui ne justifiait plus nécessairement leur exploitation. Une exception à cette tendance est liée à une légère augmentation des concentrations maximales observées entre 2014 et 2015 à la station du Barrage de Lac-Mégantic, située près de l'usine de panneaux de particules Tafisa.

Le suivi de la qualité de l'air à la ville de Mercier avait été mis en place pour répondre à une préoccupation de la population sur les effets possibles des émissions de l'incinérateur de matières résiduelles dangereuses de la compagnie Clean Harbors sur la qualité de l'air. Le suivi a cessé lorsque la compagnie a interrompu ses activités en novembre 2011.

Le tableau 2 montre que les concentrations de nickel dans les PST des stations actives sont représentatives d'un bruit de fond exempt de nickel (maximum ≤ 0,004 µg/m^{3}) pour les stations situées à Auclair, Gatineau, Lac-Édouard, Notre-Dame-du-Rosaire, St-Faustin, St-Jérôme et Sherbrooke. À titre indicatif, le CEAEQ a une limite de détection de 0,003 µg/m^{3} pour le nickel dans les PST, et une valeur égale à la moitié de la limite de détection (0,0015 µg/m^{3}) est alors retenue comme valeur officielle dans les résultats. Ce sont en fait des stations représentatives du bruit de fond. Les concentrations sont également très basses à St-Simon et à la bibliothèque Monique-Corriveau (et l'ancien lieu de mesure sur la rue de l'Église), près du boulevard Henri IV à Québec.

Pour les stations localisées autour du port de la ville de Québec où les concentrations de nickel dans les PST sont historiquement plus élevées qu'ailleurs, celles-ci ont baissé de façon considérable, de 80 à 90% au fil des ans, que ce soit au niveau des moyennes, des médianes, des centiles et des maximums. La figure 1 montre la tendance à la baisse avec les années des concentrations de nickel dans les PST aux trois stations les plus proches du port de Québec. La figure 2 montre une tendance similaire à la baisse avec les années pour les concentrations de nickel dans les PST aux deux autres stations d'air ambiant de la ville de Québec.

Le MELCC a fait valoir qu'il serait intéressant d'inclure les données de nickel dans les PST collectées en 2016 à proximité d'une entreprise d'extraction du nickel. L'analyse des données est présentée à l'Annexe A.

Tableau 1 Statistiques du nickel dans les PST – Stations fermées du MELCC

Année	# de valeurs	Moyenne µg/m^3	C50 µg/m^3	C75 µg/m^3	C90 µg/m^3	C95 µg/m^3	C98 µg/m^3	Maximum µg/m^3
De Beaujeu, Québec (milieu résidentiel à proximité du Port de Québec)								
2010	37	0,048	0,007	0,050	0,135	0,296	0,341	0,389
2011	52	0,039	0,012	0,035	0,073	0,100	0,145	0,734
2012	13	0,012	0,009	0,014	0,022	0,031	0,039	0,044
De l'Église, Québec (milieu résidentiel, redéployée)								
2011	52	0,0029	0,0015	0,0015	0,0058	0,0070	0,0080	0,0350
2012	55	0,0027	0,0015	0,0030	0,0040	0,0053	0,0088	0,0278
2013	5	0,0027	0,0015	0,0030	0,0048	0,0054	0,0058	0,0060
Vitré, Québec (milieu résidentiel à proximité du Port de Québec)								
2010	44	0,071	0,020	0,061	0,122	0,218	0,550	1,030
2011	56	0,038	0,018	0,046	0,063	0,120	0,188	0,396
2012	12	0,019	0,012	0,022	0,030	0,058	0,078	0,091
Parc Webster, Sherbrooke								
2012	28	0,0033	0,0015	0,0019	0,0040	0,0047	0,0211	0,0400
2013	16	0,0018	0,0015	0,0015	0,0015	0,0026	0,0047	0,0060
Lac-Mégantic-Centre sportif								
2014	16	0,0017	0,0015	0,0015	0,00225	0,003	0,003	0,003
Lac-Mégantic-Du Barrage								
2014	16	0,0020	0,0015	0,0015	0,0028	0,0048	0,0061	0,0070
2015	29	0,0031	0,0015	0,0015	0,0044	0,0138	0,0199	0,0210
Projet Mercier 1, Mercier (milieu agricole)								
2008	5	0,014	0,002	0,028	0,032	0,034	0,034	0,035
2009	12	0,003	0,002	0,002	0,004	0,008	0,010	0,012
2010	11	0,002	0,002	0,003	0,005	0,005	0,005	0,005
2011	10	0,003	0,002	0,004	0,007	0,009	0,009	0,010
Projet Mercier 2, St-Isidore (milieu agricole)								
2008	4	0,0055	0,0058	0,0079	0,0086	0,0088	0,0089	0,0090
2009	12	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
2010	11	0,0024	0,0015	0,0015	0,0030	0,0065	0,0086	0,0100
2011	9	0,0055	0,0015	0,0015	0,0102	0,0226	0,0300	0,0350
Projet Mercier 3, St-Isidore (milieu agricole)								
2008	4	0,003	0,003	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
2009	12	0,002	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,007
2010	12	0,006	0,002	0,002	0,004	0,025	0,040	0,050
2011	10	0,002	0,002	0,002	0,004	0,005	0,005	0,005
Projet Mercier 4, Mercier (milieu agricole)								
2009	6	0,007	0,002	0,003	0,018	0,025	0,029	0,032
2010	12	0,003	0,002	0,002	0,006	0,008	0,009	0,010
2011	9	0,002	0,002	0,002	0,003	0,006	0,008	0,009
Sept-Iles-Gamache								
2012	12	0,0016	0,0015	0,0015	0,0015	0,0022	0,0027	0,0030
2013	18	0,0023	0,0015	0,0015	0,0046	0,0060	0,0060	0,0060
Sept-Iles-Livingston								
2012	12	0,0016	0,0015	0,0015	0,0015	0,0022	0,0027	0,0030
2013	18	0,0018	0,0015	0,0015	0,0023	0,0042	0,0047	0,0050
Sept-Îles-Parc Ferland								
2014	36	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
2015	23	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015

Tableau 2 Statistiques du nickel dans les PST – Stations actives du MELCC

Année	# de valeurs	Moyenne µg/m^3	C50 µg/m^3	C75 µg/m^3	C90 µg/m^3	C95 µg/m^3	C98 µg/m^3	Maximum µg/m^3
Auclair								
2012	46	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0017	0,0030
2013	54	0,0018	0,0015	0,0015	0,0033	0,0043	0,0050	0,0050
2014	11	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Bibl. Monique-Corriveau, Québec								
2014	56	0,0022	0,0015	0,0015	0,0045	0,006	0,0105	0,012
Gatineau-Hull								
2012	43	0,0018	0,0015	0,0015	0,0015	0,0049	0,0050	0,0050
2013	51	0,0017	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0050	0,0080
2014	51	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
2015	38	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Lac-Édouard								
2012	36	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
2013	55	0,0019	0,0015	0,0015	0,0015	0,0020	0,0039	0,0210
2014	44	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
2015	36	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Lac-Mégantic-Du Barrage								
2014	16	0,0020	0,0015	0,0015	0,0028	0,0048	0,0061	0,0070
2015	29	0,0031	0,0015	0,0015	0,0044	0,0138	0,0199	0,0210
Notre-Dame-du-Rosaire								
2014	36	0,0017	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0037	0,0090
2015	29	0,0017	0,0015	0,0015	0,0015	0,0030	0,0040	0,0040
Parc de la Gatineau-La Pêche								
2012	41	0,0016	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0022	0,0050
2013	34	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
2014	16	0,0017	0,0015	0,0015	0,0015	0,0021	0,0033	0,0040
Parc Victorin-Beaucage, Québec								
2011	57	0,011	0,003	0,011	0,028	0,035	0,086	0,114
2012	57	0,007	0,003	0,006	0,017	0,027	0,035	0,048
2013	59	0,007	0,002	0,006	0,010	0,030	0,037	0,133
2014	60	0,004	0,002	0,004	0,008	0,010	0,023	0,041
2015	54	0,003	0,002	0,002	0,006	0,010	0,023	0,025
Saint-Faustin-Lac-Carré								
2014	42	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
2015	38	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0019	0,0030
Saint-Jérôme-Rés. Marie-Lucie								
2014	11	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
2015	4	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Saint-Simon								
2008	5	0,014	0,002	0,028	0,032	0,034	0,034	0,035
2009	12	0,003	0,002	0,002	0,004	0,008	0,010	0,012
2010	11	0,002	0,002	0,003	0,005	0,005	0,005	0,005
2011	10	0,003	0,002	0,004	0,007	0,009	0,009	0,010
Shawinigan-Saint-Marc								
2008	28	0,0040	0,0015	0,0060	0,008	0,012	0,015	0,018
2009	10	0,0036	0,0015	0,0015	0,010	0,012	0,014	0,015
Sherbrooke-Parc Cambron								
2013	17	0,0016	0,0015	0,0015	0,0015	0,0020	0,0032	0,0040
2014	56	0,0016	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0050
2015	30	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Vieux-Limoilou, Québec (près du port de Québec)								
2010	27	0,0960	0,0130	0,0445	0,1312	0,1975	0,9113	1,6700
2011	45	0,0722	0,0220	0,0630	0,1670	0,2904	0,4514	0,8140
2012	55	0,0236	0,0118	0,0366	0,0554	0,0800	0,1066	0,1255
2013	131	0,0155	0,0060	0,0145	0,0340	0,0585	0,0898	0,2910
2015	41	0,0107	0,0015	0,0070	0,0130	0,0480	0,0752	0,1840

Figure 1 Évolution des concentrations de nickel dans les PST - Port de Québec

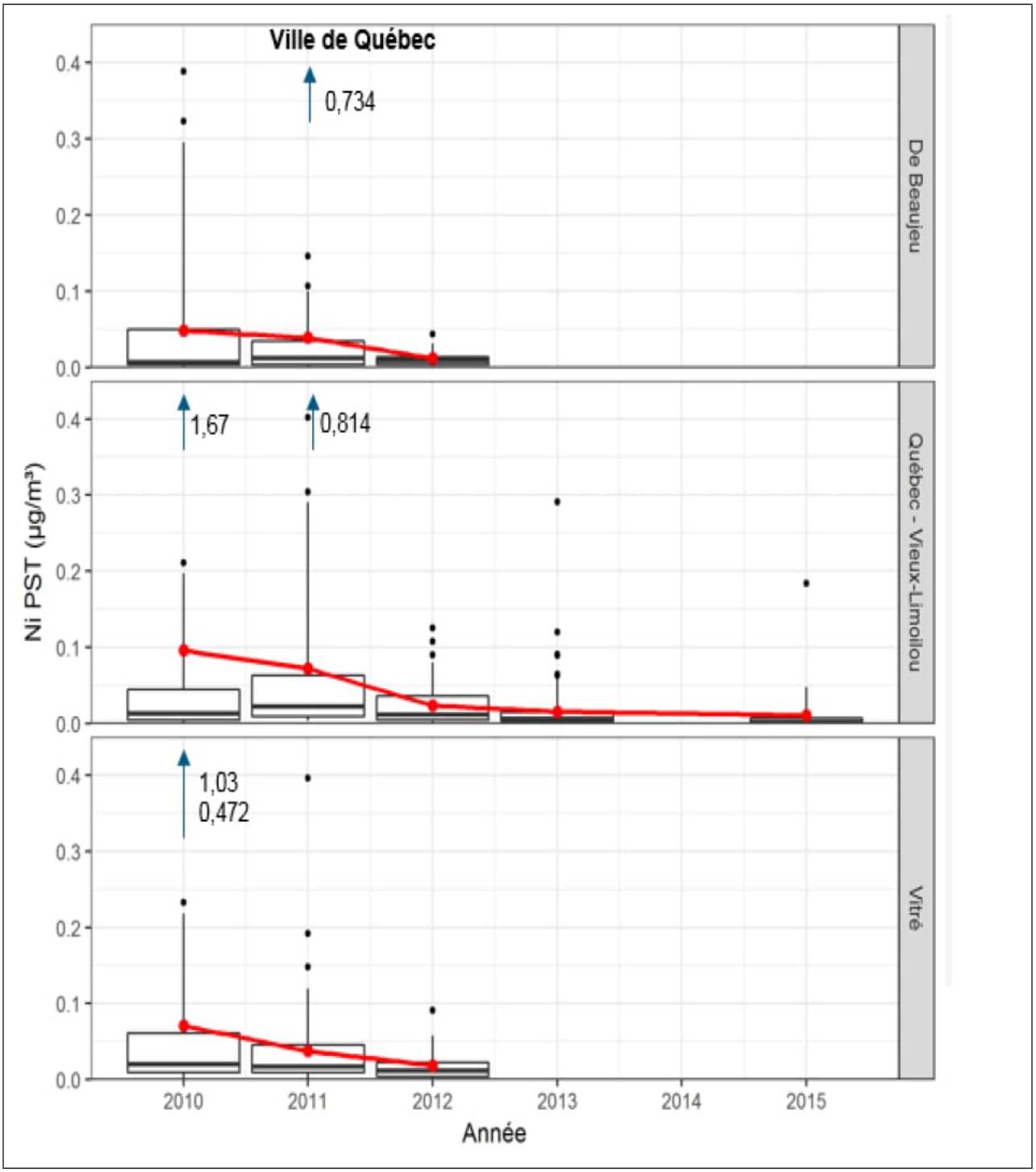
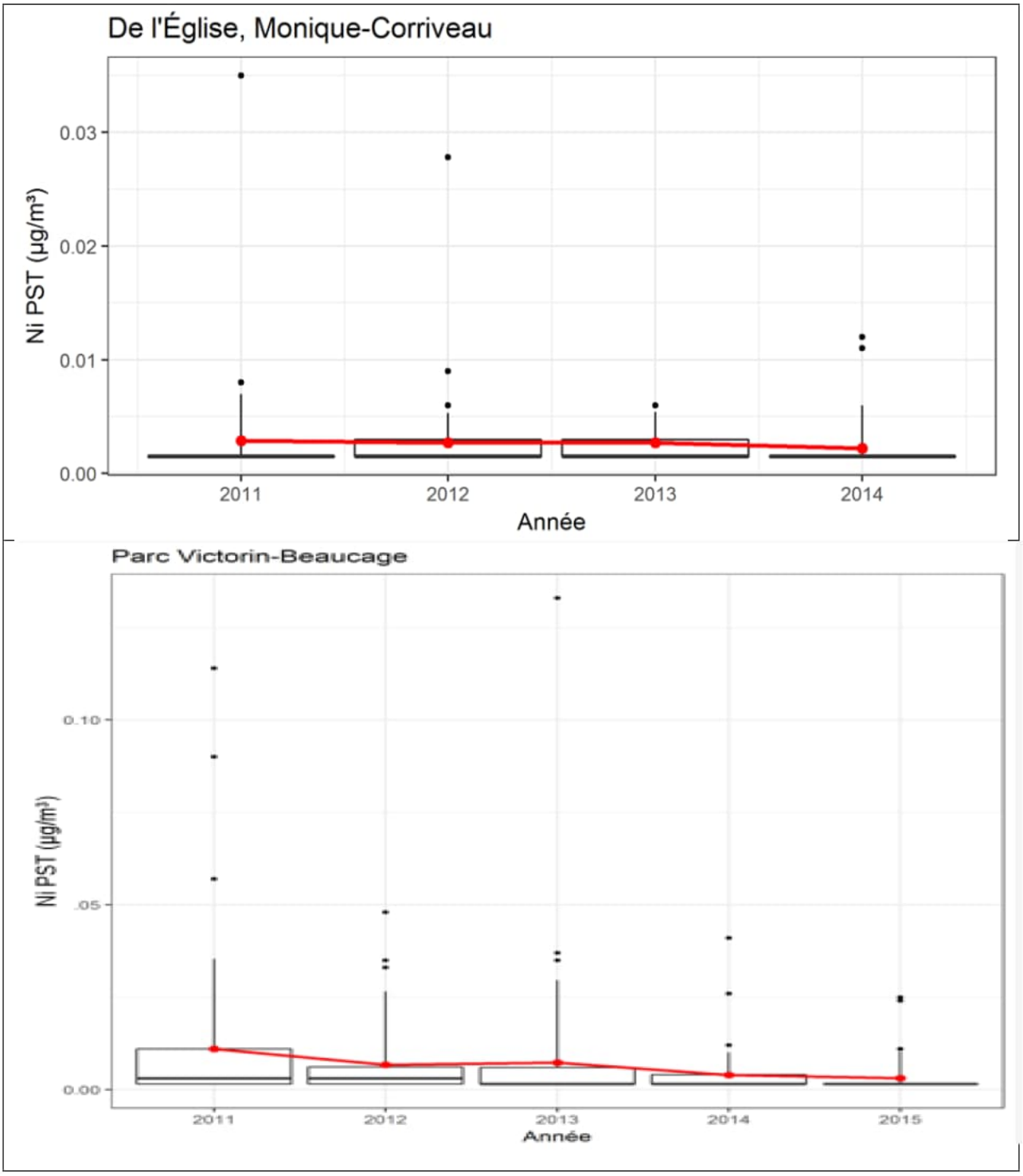


Figure 2 Concentrations de nickel dans les PST – Autres stations (ville de Québec)



2.4 Nickel dans les PM_{10} au Québec

ECCC effectue l'échantillonnage du nickel dans les PM_{10} à six stations :

- Trois stations à Montréal, une en milieu résidentiel dans le quartier Rosemont, et deux dans l'est de Montréal où existent des sources secondaires de nickel (la raffinerie de Suncor, l'affinerie de cuivre et de métaux précieux CCR et l'entreprise American Iron and Metal (AIM) qui recycle des métaux incluant des alliages à base de nickel-chrome);
- Une station mesurant le bruit de fond à Saint-Anicet et une autre à L'Acadie;
- Une station au Vieux-Limoilou, à Québec à plus de 1,5 km des activités de manutention du minerai du Port de Québec.

Les données d'ECCC ont été fournies sur un horizon de 8 à 10 ans sur ces stations, à l'exception des stations de Saint-Anicet et de L'Acadie mesurant le bruit de fond et dont l'exploitation a commencé en 2015. Le MELCC exploite aussi une station de PM_{10} à quelques mètres de la station d'ECCC au Vieux-Limoilou, à la même adresse civique (4 ans fournis par le MELCC).

Bien que les stations de mesure du nickel dans les PM_{10} dans l'Est de Montréal ne soient pas situées sous l'axe des vents dominants par rapport aux usines du secteur ayant fait des déclarations d'émission de nickel (Tableau 3) à l'inventaire national des rejets polluants (INRP), les résultats des stations (Tableau 4) semblent teintés par les variations des émissions de nickel à l'atmosphère déclarées par les trois usines. D'une part, une nette baisse des concentrations est observée entre 2011 et 2013 (Figure 3), années suivant la fermeture de Shell en 2010, et pour lesquelles Suncor n'a pas déclaré d'émissions de nickel à l'atmosphère. Bien que l'entreprise ne fasse pas de déclarations à l'INRP, AIM qui déchiquète et recycle des alliages de nickel-cuivre pourrait avoir aussi contribué aux émissions de nickel du secteur. La Carrière Lafarge, qui produit plus de 1,5 Mtpa de granulats, émet des particules qui pourraient éventuellement contenir du nickel. Toutefois, comme les tendances des concentrations ambiantes de nickel ne suivent pas la tendance des émissions atmosphériques de PM_{10} de la carrière déclarées à l'INRP, le lien de cause à effet n'est pas confirmé. Après vérification, les concentrations mesurées au-delà de 30 ng/m^3 pour la station Châteauneuf correspondent à des vents moyens provenant surtout du Nord-Est, donc principalement dans l'axe des raffineries de Shell et Suncor, et de la carrière Lafarge (voir localisation des sources – Figure 4).

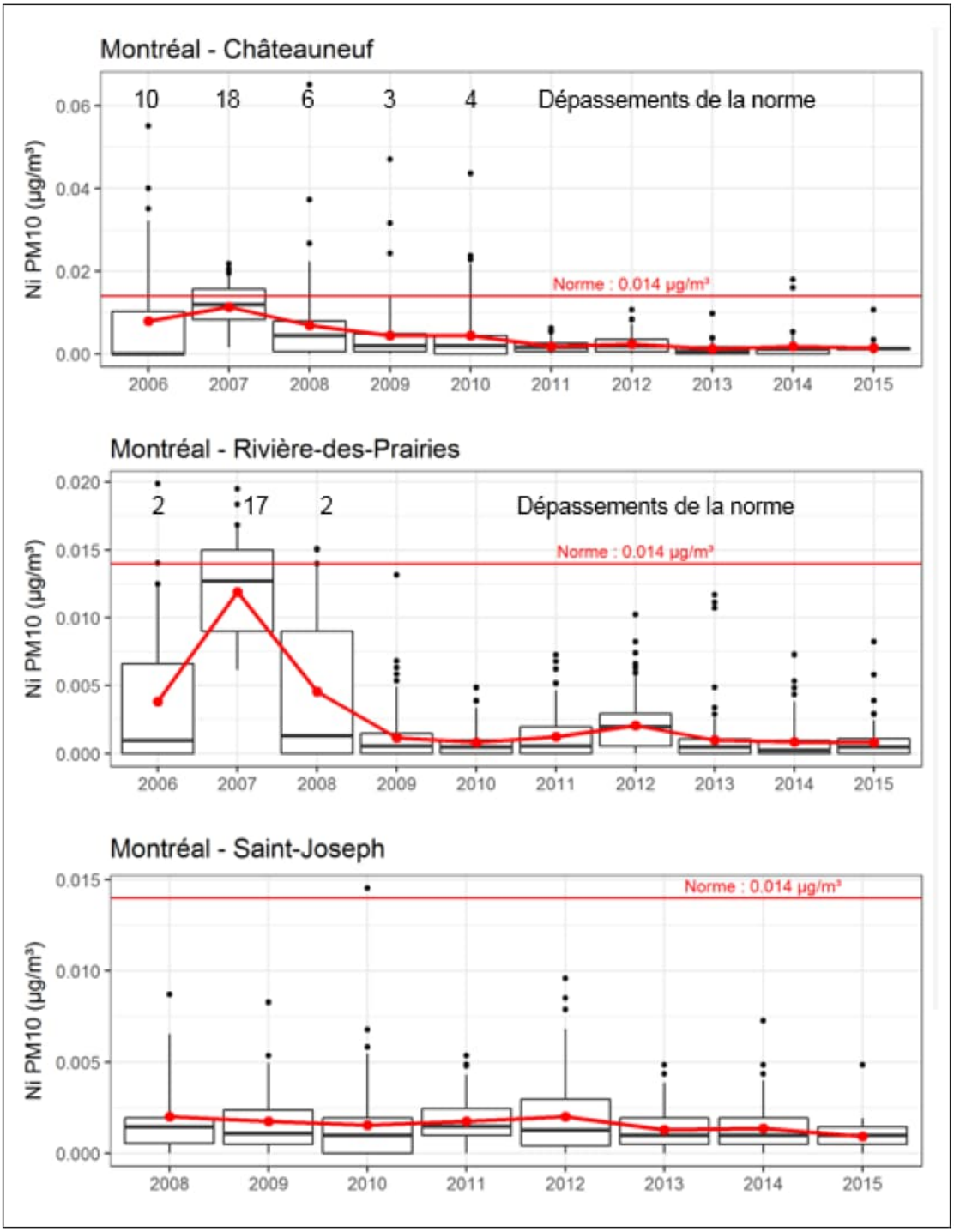
Tableau 3 Émissions annuelles (t/an) de nickel déclarées dans l'Est de Montréal

Année	Raffinerie Suncor	Raffinerie / terminal Shell	Affinerie CCR	Total
2015	0,151	ND	0,039	0,190
2014	0,216	ND	0,029	0,245
2013	ND	ND	0,033	0,033
2012	ND	ND	0,042	0,042
2011	ND	ND	0,050	0,050
2010	ND	0,230	0,106	0,336
2009	0,544	0,210	0,126	0,880
2008	0,489	0,230	0,117	0,836
2007	0,823	0,200	0,031	1,054
2006	0,732	0,270	0,084	1,086

Tableau 4 Statistiques du nickel dans les PM_{10} au Québec

Année	# de valeurs	Moyenne µg/m^3	C50 µg/m^3	C75 µg/m^3	C90 µg/m^3	C95 µg/m^3	C98 µg/m^3	Maximum µg/m^3	Nb >0,014
Québec, Vieux Limoilou - Station 03006 - ECCC - 600, rue des Sables, Québec									
2006	53	0,018	0,005	0,016	0,032	0,073	0,148	0,249	15
2007	57	0,017	0,014	0,019	0,030	0,039	0,051	0,098	28
2008	33	0,019	0,009	0,020	0,062	0,073	0,083	0,091	15
2009	58	0,040	0,006	0,014	0,035	0,079	0,264	1.384	16
2010	54	0,022	0,002	0,010	0,025	0,105	0,266	0,437	10
2011	62	0,018	0,007	0,017	0,046	0,076	0,101	0,210	18
2012	54	0,011	0,006	0,012	0,026	0,038	0,062	0,071	11
2013	57	0,013	0,002	0,009	0,013	0,049	0,116	0,284	6
2015	51	0,008	0,001	0,002	0,010	0,014	0,033	0,242	3
Québec, Vieux Limoilou - Station 03006 - MELCC - 600, rue des Sables, Québec									
2011	36	0,013	0,005	0,010	0,019	0,048	0,086	0,151	7
2012	56	0,010	0,006	0,012	0,022	0,029	0,054	0,065	12
2013	56	0,021	0,004	0,011	0,043	0,124	0,198	0,257	10
2015	130	0,006	0,002	0,004	0,010	0,027	0,036	0,151	10
Montréal, Châteauneuf - Station 06006 - ECCC – 7650 boul. Châteauneuf, Montréal									
2006	48	0,008	0,000	0,010	0,026	0,032	0,041	0,055	10
2007	51	0,011	0,012	0,016	0,017	0,020	0,021	0,022	18
2008	56	0,007	0,004	0,008	0,015	0,022	0,036	0,065	6
2009	56	0,004	0,0019	0,005	0,008	0,014	0,031	0,047	3
2010	55	0,004	0,0019	0,004	0,013	0,022	0,024	0,044	4
2011	59	0,0018	0,0016	0,003	0,003	0,005	0,006	0,006	0
2012	56	0,0023	0,0017	0,004	0,006	0,007	0,008	0,011	0
2013	54	0,0012	0,0005	0,0016	0,003	0,004	0,004	0,010	0
2014	47	0,002	0,0011	0,0017	0,003	0,005	0,016	0,018	2
2015	46	0,0015	0,0013	0,0015	0,003	0,003	0,004	0,011	0
Montréal, Rivière-des-Prairies - Station 06055 - ECCC - 12400, rue Wilfrid-Ouellette, Montréal									
2006	44	0,004	0,001	0,007	0,011	0,012	0,015	0,020	2
2007	51	0,012	0,013	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	17
2008	52	0,005	0,001	0,009	0,012	0,014	0,015	0,015	2
2009	90	0,0012	0,0005	0,0015	0,0024	0,005	0,006	0,013	0
2010	116	0,0008	0,0005	0,0010	0,0024	0,003	0,004	0,005	0
2011	99	0,0012	0,0005	0,0020	0,0034	0,005	0,006	0,007	0
2012	105	0,0021	0,0019	0,0029	0,0047	0,006	0,007	0,010	0
2013	113	0,0010	0,0005	0,0011	0,0019	0,003	0,009	0,012	0
2014	112	0,0009	0,0002	0,0010	0,0024	0,004	0,005	0,007	0
2015	104	0,0008	0,0005	0,0011	0,0018	0,0024	0,004	0,008	0
L'Acadie - Station 06620 - ECCC - Ferme expérimentale, 1134 Route 319, St-Jean-sur-Richelieu									
2015	48	0,0003	0,0002	0,0005	0,0010	0,0010	0,0015	0,0015	0
Saint-Anicet - Station 06804 - ECCC - 1128, de la Guerre, Saint-Anicet									
2015	48	0,0003	0,0002	0,0005	0,0010	0,0010	0,0015	0,0015	0
Montréal, St-Joseph - Station 06081 - ECCC - 2580, rue St-Joseph Est, Montréal									
2008	11	0,0020	0,0015	0,0019	0,004	0,007	0,008	0,009	0
2009	58	0,0018	0,0011	0,0024	0,004	0,005	0,008	0,008	0
2010	55	0,0015	0,0010	0,0019	0,004	0,005	0,007	0,015	1
2011	53	0,0017	0,0015	0,0024	0,004	0,004	0,005	0,005	0
2012	56	0,0020	0,0013	0,0030	0,005	0,007	0,008	0,010	0
2013	56	0,0013	0,0010	0,0019	0,003	0,004	0,004	0,005	0
2014	46	0,0014	0,0010	0,0019	0,003	0,004	0,005	0,007	0
2015	30	0,0009	0,0010	0,0015	0,002	0,002	0,003	0,005	0

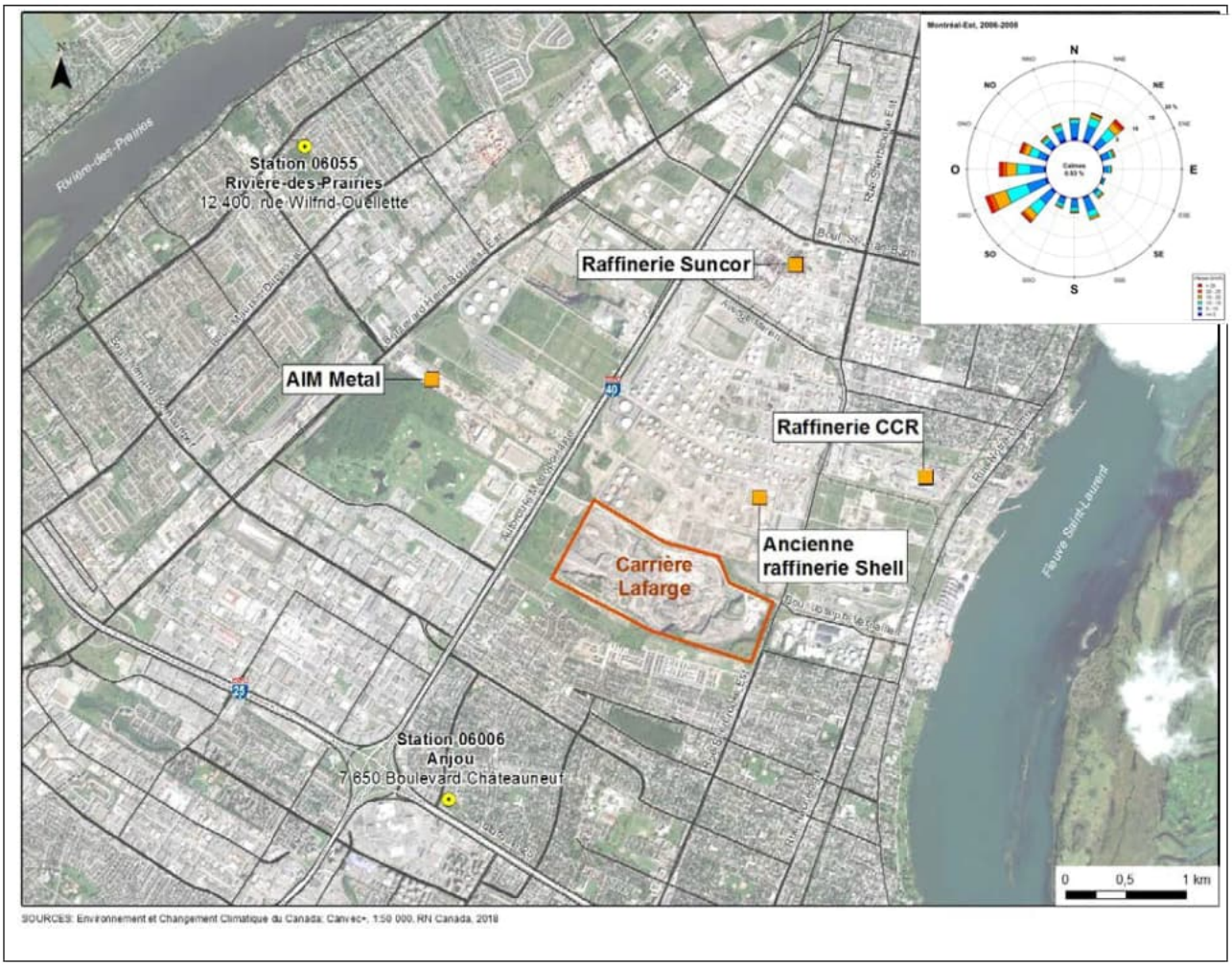
Figure 3 Concentrations de nickel dans les PM_{10} – Montréal (ECCC)



Depuis la fermeture de la raffinerie de Shell et que les émissions de nickel de Suncor ont été réduites de moitié comparativement aux années 2006 à 2009, les concentrations de nickel dans l'air ambiant n'ont pas dépassé la norme d'air ambiant aux deux stations de l'est de Montréal (Figure 3), à l'exception de l'année 2010 qui pourrait représenter une année charnière pour les émissions de nickel de Suncor. En somme, une émission totale d'environ 1 t/an de nickel en

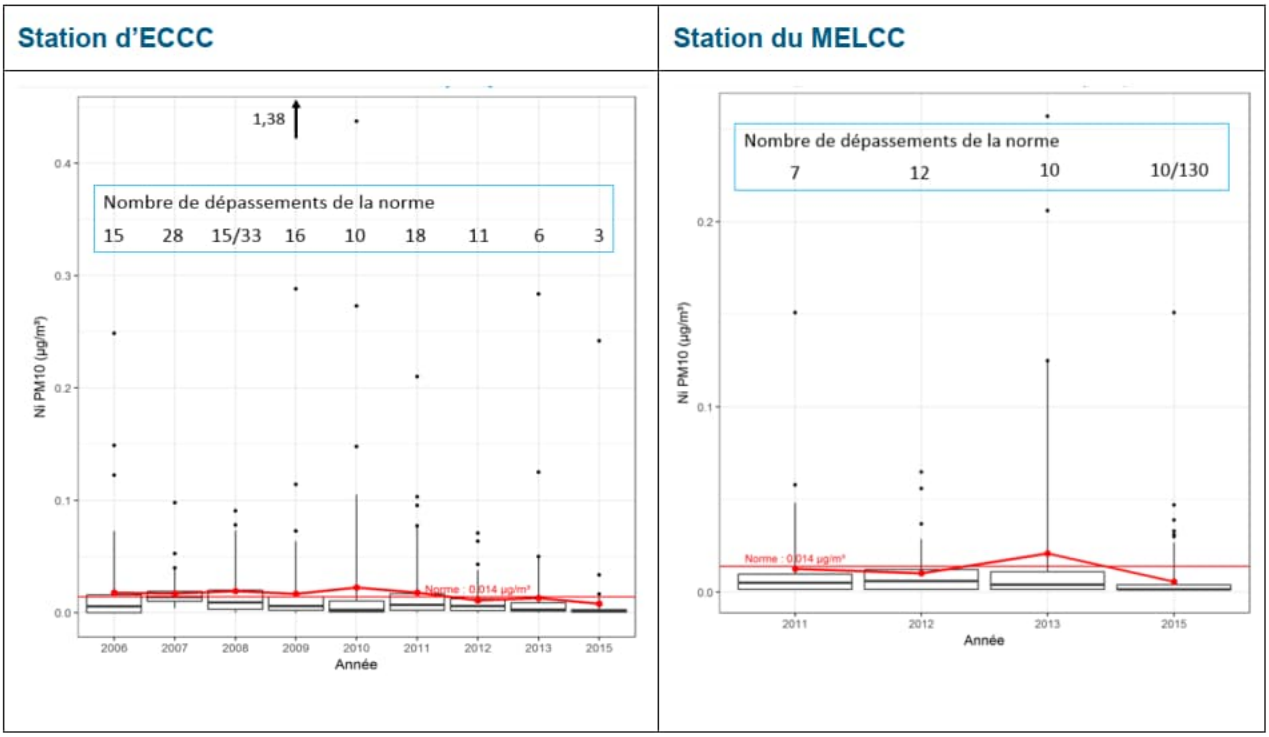
provenance des raffineries a suffi à générer des dépassements de la norme québécoise à environ 3 à 5 km de distance des cheminées. Depuis 2011, alors que les émissions annuelles sont devenues inférieures à 250 kg/an, aucun dépassement n'a été observé.

Figure 4 Localisation des stations de nickel dans les PM_{10} – Est de Montréal



La figure 5 montre que les concentrations de nickel dans les PM_{10} aux stations du Vieux Limoilou, qui étaient plus élevées en 2009 et 2010, ont depuis progressivement baissé quant aux moyennes, médianes, centiles, maximums, de sorte que la norme journalière de 0,014 µg/m^3 qui était dépassée 50% du temps en 2007, a été dépassée moins de 8% du temps en 2015, soit 10 dépassements sur 130 mesures à la station du MELCC. Les mesures d'ECCC montrent les mêmes tendances (3/51 soit 6%). Aucune entreprise de la ville de Québec n'a effectué une déclaration d'émission de nickel à l'atmosphère à l'INRP depuis 2006.

Figure 5 Concentrations de nickel dans les PM_{10} – Vieux Limoilou



Enfin, pour ce qui concerne les stations mesurant le bruit de fond en milieu rural, les analyses de 2015 furent toutes du niveau des limites de détection, démontrant ainsi une qualité de l'air exempte de nickel. La station urbaine St-Joseph du quartier Rosemont à Montréal montre des niveaux représentatifs d'un milieu urbain avec des maximums journaliers en général inférieurs à 0,009 µg/m^3 à chaque année. La tendance des mesures est aussi à la baisse depuis 2012. Dans tout l'historique des données, de 2008 à 2015, une seule valeur (0,015 µg/m^3) a dépassé légèrement la norme journalière de 0,014 µg/m^3 à cette station.

2.5 Bruit de fond du nickel en Californie

L'OEHHA de la Californie rapporte dans son étude visant l'établissement de valeurs toxiques de référence (Reference Exposure Limit – REL) pour le nickel et les composés du nickel (OEHHA, 2012), des valeurs d'études récentes qui ont généralement varié entre 2 et 9 ng/m^3 dans les $PM_{2.5}$ à Long Beach, Los Angeles (Armami et al, 2009). La plus haute valeur rapportée était de 11 ng/m^3 près des activités portuaires, attribuée au fait que le bunker C brûlé par les bateaux contient du nickel. Nous comprenons que ces valeurs sont représentatives du bruit de fond du nickel dans les particules fines dans un environnement urbain.

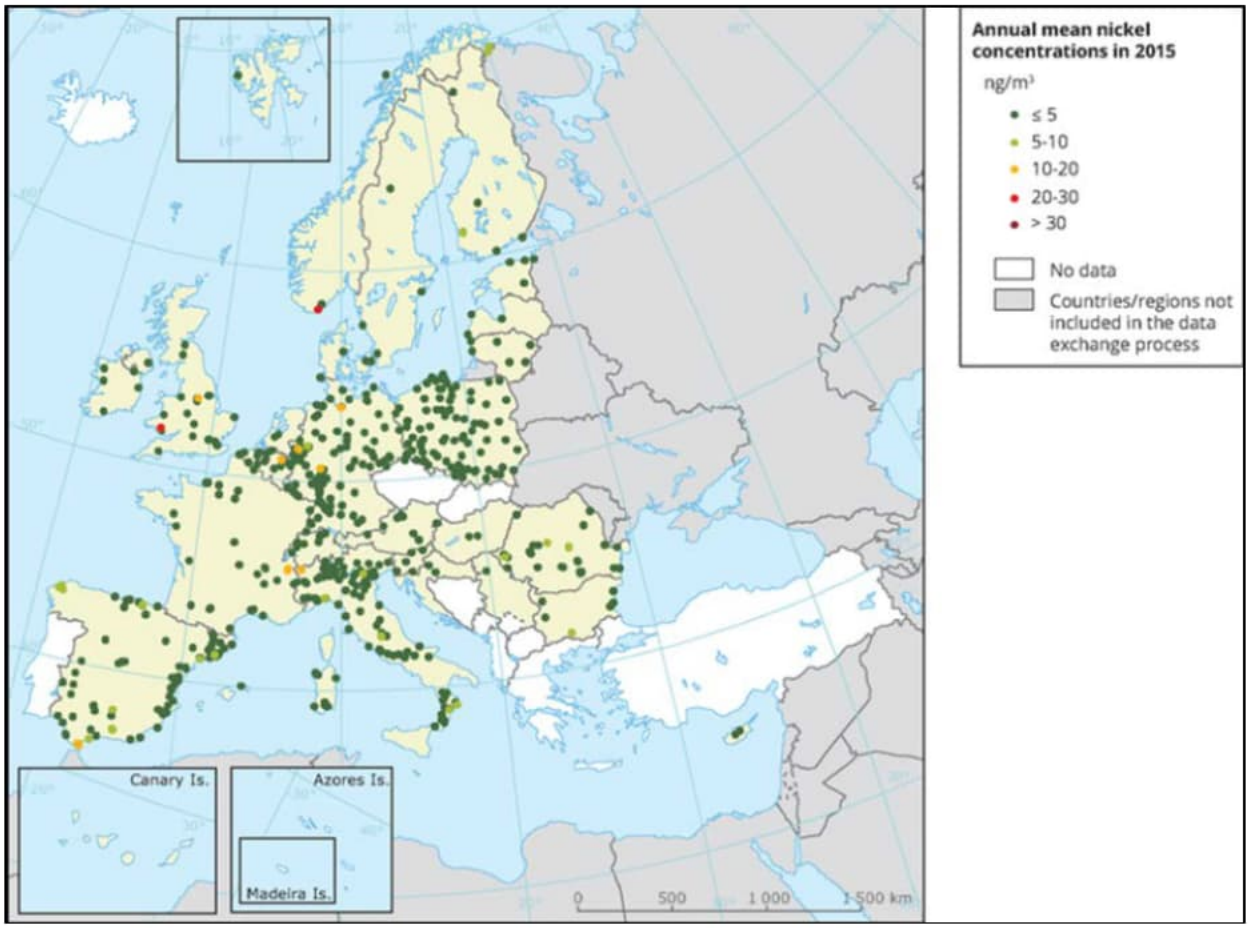
2.6 Europe

L'Agence européenne de l'environnement (2017) rapporte que les concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} se maintiennent dans l'ensemble des 595 stations de mesure de 26 pays européens sous les 5 ng/m^3 et ce n'est qu'à 2 stations industrielles où l'on a rapporté des dépassements de la valeur cible de 20 ng/m^3 en 2015 (Figure 6).

À titre indicatif, le Royaume-Uni rapporte des valeurs urbaines typiques de moins de 2 ng/m^3, à l'exception de quelques zones industrielles (UK Department for Environment Food & Rural

Affairs - DEFRA, Septembre 2017). En milieu rural, DEFRA rapporte des valeurs typiques ordinairement de moins de 1 ng/m^3. DEFRA mentionne que de faibles concentrations peuvent parfois être mesurées à proximité d'axes routiers majeurs, dû aux poussières soulevées par les véhicules.

Figure 6 Concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} en Europe (2015)



Source: EEA, Air Quality in Europe 2017, Report No 13/2017, (Rubrique: Annual mean nickel. Observed concentrations of nickel in 2015). https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017/

2.6.1 Bruit de fond du nickel en Norvège

En Norvège, l'Agence de l'environnement mentionne que les concentrations de nickel dans l'air ambiant varient entre 1 et 10 ng/m^3 dans les PM_{10}, mais que des concentrations beaucoup plus élevées (100-200 ng/m^3) peuvent survenir dans les zones où on retrouve des industries qui émettent du nickel. Par exemple, dans le nord de la Norvège, les valeurs moyennes représentatives d'un bruit de fond exempt de nickel étaient de l'ordre de 1 ng/m^3 en 1990-1991. À la frontière avec la Russie, l'Agence Norvégienne de l'environnement (2017) a mesuré entre 2010 et 2015 des concentrations moyennes annuelles variant entre 10 et 20 ng/m^3 aux stations d'air ambiant norvégiennes de Svivank et Karpdalen, respectivement situées à 8 et 30 km de raffineries importantes de nickel à Nikel et Zapoliarny en Russie. Des valeurs moyennes plus élevées (90 ng/m^3 à l'été 2015 et 260 ng/m^3 à l'hiver 2016) ont toutefois été relevées à la station Karpdalen située à 30 km de Zapoliarny durant la dernière année de mesure (2015-2016).

L'Agence de l'environnement a rapporté à la figure 7 les concentrations moyennes annuelles relevées à des stations d'air ambiant de la Norvège, entre 2009 et 2012. Sur cette base, l'Agence évalue que la population norvégienne est en général exposée à des concentrations moyennes de nickel inférieures à 2,5 ng/m^3 dans les PM_{10}, à l'exception des zones industrielles lourdes. Le cas de Kristiansand est présenté en détail à la section 4.2.1 et comprend une valeur annuelle de 52 ng/m^3 déclarée par la raffinerie en 2010.

Figure 7 Concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} (ng/m^3) en Norvège – 2009-2012

Source : https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/metaller/nikkel-ni/ (13.02.2018)

3 Revue des normes de nickel dans l'air ambiant

La production mondiale des mines de nickel s'établit à environ 2,1 M t/an de minerai en contenu nickel (USGS, 2018). Le tableau 5 présente la production totale par pays en 2016 et 2017 en termes de tonnes de nickel présent dans le minerai. La production mondiale est restée sensiblement la même en 2017, avec une tendance décroissante pour plusieurs chefs de file de l'industrie du nickel, incluant l'Australie, le Brésil, le Canada et les Philippines. La plus forte réduction de production est survenue aux Philippines, où la fermeture de la moitié des mines de nickel a été maintenue, celles-ci ne rencontrant pas les exigences environnementales. La production aux Philippines a ainsi passé de 554 000 t/an en 2015 à 230 000 t/an estimé pour 2017. Ces réductions de production ont été reprises par l'Indonésie qui a assoupli son interdiction d'exportation de minerai aux compagnies ayant l'intention de construire des installations de traitement de nickel.

Tableau 5 Réserves et production mondiale des mines de nickel

Pays	Production 2016 (t)	Production 2017 (t)	Réserves (t)
Canada *	236 000	210 000	2 700 000
Afrique du sud	49 000	49 000	3 700 000
Australie *	204 000	190 000	19 000 000
Brésil	160 000	140 000	12 000 000
Chine	98 000	98 000	2 900 000
Colombie	41 600	49 000	1 100 000
Cuba	51 600	51 000	5 500 000
États-Unis	24 100	23 000	130 000
Guatemala	54 000	68 000	1 800 000
Indonésie	199 000	400 000	4 500 000
Madagascar	49 000	45 000	1 600 000
Nouvelle Calédonie *	207 000	210 000	-
Philippines	347 000	230 000	4 800 000
Russie	222 000	180 000	7 600 000
Autres pays	150 000	150 000	6 500 000
Total mondial	2 090 000	2 100 000	74 000 000

(*) Pays retenus pour l'analyse des normes et critères de nickel dans l'air ambiant

Par ailleurs, les pays où le métal est produit comme nickel affiné ou ferronickel diffèrent en partie des pays d'où l'extraction du minerai de nickel est réalisée. Ainsi, en 2013, les six pays producteurs les plus importants étaient la Chine (725 kt/an), la Russie (248 kt/an), l'Australie (142 kt/an), le Canada (137 kt/an), le Japon (128 kt/an) et la Norvège (91 kt/an).

Dans ce chapitre, la revue des normes et critères d'air ambiant pour le nickel est effectuée pour les pays industrialisés occidentaux qui sont des chefs de file dans la production de nickel soit : le Canada (Québec et Ontario), l'Australie et la France (la Nouvelle-Calédonie est un territoire français qui décidera prochainement de son statut par rapport à la France). Les normes d'air ambiant sont aussi revues pour l'Union européenne, la Californie et le Texas, qui sont normalement à l'avant-garde des normes en matière d'environnement.

3.1 Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Depuis 1987, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) publie des lignes directrices ou des valeurs guides (guidelines) relatives à la qualité de l'air destinées à informer les décideurs publics dans l'élaboration de leurs politiques visant à prévenir la pollution de l'air et les impacts potentiels sur la santé publique. La ligne directrice sur le nickel est donc importante à comprendre, du fait que plusieurs pays l'ont considéré dans l'élaboration de leur norme ou critère d'air ambiant.

L'OMS s'est ainsi intéressée au nickel dans ses lignes directrices de l'an 2000 (WHO, 2000). Les composés de nickel sont cancérigènes de par leur exposition par inhalation. La ligne directrice a été dérivée d'études (Andersen, 1992 et 1996) réalisées en Norvège sur l'exposition au nickel des travailleurs de la raffinerie Nikkelverk à Kristiansand en relation au cancer du nez et du poumon. Assumant une relation linéaire dose-réponse, l'OMS ne recommande aucun niveau sûr pour les concentrations des composés de nickel dans l'air ambiant, c'est-à-dire que toute exposition répétée à long terme peut induire un cancer.

Basé sur les études d'Andersen, un risque unitaire de $3{,}8 \times 10^{-4}$ est donné pour une exposition pendant toute la vie à une concentration moyenne de nickel de 1 µg/m^3 dans l'air ambiant. Le risque unitaire est exprimé en termes de probabilité de cas additionnels de cancer par 1 µg/m^3 de contaminant dans l'air ambiant. Les concentrations correspondantes à un cas additionnel de cancer pour 10 000, 100 000 et 1 000 000 de personnes sont environ 250, 25 et 2,5 ng/m^3.

Enfin, l'OMS souligne que, même si les effets dermatologiques du nickel sont les plus communs, ceux-ci ne sont pas liés de façon critique aux niveaux de nickel dans l'air ambiant.

3.2 Québec

3.2.1 Norme de nickel dans l'air ambiant

Le MELCC a fixé une norme d'air ambiant sur 24 h de 0,014 µg/m^3 pour le nickel dans les PM_{10} basée sur une approche similaire à la détermination de la valeur toxique de référence (VTR) aigue en Californie (California OEHHA, 2102 – voir Section 3.6 pour les détails des VTR de la Californie). La norme québécoise part de la même référence qu'en Californie, soit d'une étude menée par Graham et al. sur des souris via l'inhalation de chlorure de nickel. L'effet critique retenu est la diminution du système immunitaire (anticorps).

La dose benchmark, soit la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95%, a été déterminée à 165 µg/m^3 pour une exposition de deux heures. Cette valeur est ramenée à 14 µg/m^3 pour une exposition de 24 h sur la base d'une relation linéaire en fonction du temps d'exposition (loi de ten Berge $C_1t_1 = C_2t_2$). Un facteur d'incertitude global de 1 000 est ensuite appliqué pour fixer la norme à 0,014 µg/m^3 sur 24 h.

Il faut noter que la norme sur 24 h du nickel dans les PM_{10} au Québec (0,014 µg/m^3) est la même que la valeur toxique de référence (VTR) chronique de la Californie, ce qui en fait une norme plus sévère qu'en Californie, d'autant plus qu'il n'y a pas d'industrie du nickel dans cet état américain, pas plus qu'ailleurs aux États-Unis à l'exception du Michigan.

Les normes d'air ambiant antérieures (2011) étaient de 6 µg/m^3 (1 h), et de 0,012 µg/m^3 (annuel) sur les PST. La valeur de 6 µg/m^3 dans les PST (1 h) avait été basée sur la valeur toxique de référence aigue de la Californie, qui en 2012, l'a révisée à 0,2 µg/m^3. La norme annuelle de 12 ng/m^3 dans les PST retenue s'était inspirée de la ligne directrice de l'OMS, qui

évaluait un facteur de risque unitaire de 3,8 x 10^{-4} de développer un cancer par inhalation pour une exposition de 1 µg/m^3, basée sur le facteur de risque de l'OMS (MDDELCC, 2017). Le MELCC évaluait qu'il fallait opter pour une norme plus élevée, d'une part dû au manque d'information sur les niveaux ambiants de nickel au Québec, et d'autre part à la volonté de ne pas imposer une norme impossible à respecter par d'éventuelles entreprises qui pourraient émettre du nickel à l'atmosphère. Une exposition moyenne de 12 ng/m^3 correspond à un risque de développement du cancer pour 5 cas additionnels par million d'individus.

3.2.2 Domaine d'application

Au Québec, la norme d'air ambiant est applicable à l'extérieur de la limite de propriété occupée par les installations d'où proviennent les émissions à l'atmosphère ainsi qu'à l'extérieur de tout secteur zoné à des fins industrielles et de toute zone tampon adjacente à un tel secteur, tel qu'établis par les autorités municipales compétentes (RAA, art. 202). Toutefois la norme est applicable aux résidences qui occuperaient le territoire ainsi zoné.

Le MELCC considère que le concept de limite de propriété n'est pas applicable en terres publiques. Pour pallier à cette problématique, le *Guide sur les projets miniers* (section 4.3) précise les modalités d'application des normes et critères pour les projets situés sur des terres publiques. La révision à la fin 2016 du libellé demande le respect des normes et critères aux récepteurs sensibles situés au-delà de 300 m des installations à la condition que le promoteur démontre que des méthodes d'atténuation courantes ont été appliquées là où réalisable sur les plans technique et économique.

Les mesures aux stations d'air ambiant localisées aux endroits où la norme d'air ambiant est applicable sont simplement comparées à la norme pour évaluer la conformité des installations existantes. En vertu de l'article 197 du RAA, une installation existante ne pourrait pas augmenter sa production, construire ou modifier une source fixe émettant des contaminants à l'atmosphère s'il est susceptible d'en résulter une augmentation de la concentration d'un contaminant dans l'air au-delà de la norme d'air ambiant, ou au-delà de la concentration d'un contaminant pour lequel cette valeur limite est déjà excédée. En d'autres mots, si la norme d'air ambiant est déjà excédée, le MELCC prône l'amélioration continue de l'industrie, de telle sorte que les émissions d'une nouvelle source devront être compensées par des réductions d'émissions ailleurs dans l'usine.

Dans le cas de nouvelles installations, ou d'installations voulant augmenter leur production, il faut démontrer par une modélisation de la dispersion atmosphérique que les normes sont respectées ou que la concentration maximale modélisée suivant la mise en œuvre du projet soit inférieure à la concentration modélisée pour la situation existante, avant le projet. Dans le cas d'une mine de nickel, la modélisation doit se conformer au Guide d'instructions du MELCC pour la préparation et réalisation d'une étude de modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques pour les projets miniers (MDDELCC, 2017). Ce guide est le plus complet et ciblé des guides consultés dans le cadre de cette étude, en ce qui concerne les projets miniers.

3.3 Ontario

3.3.1 Contexte réglementaire

L'Ontario régit les polluants atmosphériques provenant de sources diverses, dont les installations industrielles et commerciales locales, afin de limiter l'exposition à des substances susceptibles de nuire à la santé de l'être humain et à l'environnement. Une entreprise avec des

rejets de polluants dans l'air, quels qu'ils soient, doit se conformer aux normes applicables du Règlement de l'Ontario 419/05 sur la qualité de l'air à l'échelle locale[1].

Le règlement 419/05 prévoit trois façons pour les entreprises d'observer ses dispositions :

- respecter la norme générale sur la qualité de l'air;
- demander une norme établie spécifiquement pour un endroit et la respecter (Norme SSS);
- s'engager à suivre les règles imposées par une norme technique sectorielle. D'ailleurs, une norme sectorielle applicable à l'industrie minière du nickel-cuivre et cuivre-zinc est parue le 23 mars 2018.

Le règlement 419/05 détaille, entres autres, les exigences requises pour la modélisation de la dispersion atmosphérique, les exigences pour le rapport sur le sommaire des émissions et de la modélisation de la dispersion (Emission Summary Dispersion Modeling), les exigences pour la soumission de rapports au Ministère de l'environnement et de l'action en matière de changement climatique de l'Ontario (MOECC), les échéanciers de mise en œuvre, et les interdictions générales applicables au dépassement des normes d'air ambiant. Le règlement 419/05 est appuyé par les trois directives suivantes :

- Directive pour la mise en œuvre des normes d'air ambiant en Ontario pour l'établissement des normes SSS ("Guideline for the Implementation of Air Standards in Ontario" (GIASO))
- Directive sur la modélisation de la dispersion atmosphérique en Ontario ("Air Dispersion Modelling Guideline for Ontario" (ADMGO))
- Procédure pour la préparation d'un rapport du sommaire des émissions et de la modélisation de la dispersion ("Procedure for Preparing an Emission Summary and Dispersion Modelling Report" (ESDM Procedure))

3.3.2 Norme générale sur la qualité de l'air

Les normes sur la qualité de l'air établissent la concentration limite des polluants rejetés dans l'air. Elles sont exécutoires (elles ont « force de loi »). Elles servent à déterminer la quantité d'un polluant que rejettent dans l'air les installations soumises au Règlement 419/05 de l'Ontario. Pour voir si une entreprise respecte les normes, on compare la concentration maximale estimée du polluant à son point d'impact (point of impingement) avec la norme de qualité de l'air correspondante.

Si une entreprise peut démontrer que la concentration maximale du polluant qu'elle rejette dans l'air ne dépasse pas la limite établie par la norme, le Règlement 419/05 ne lui impose pas d'autres exigences. La plupart des entreprises en Ontario respectent les normes générales sur la qualité de l'air. Ce n'est toutefois pas le cas pour l'industrie du nickel.

Lorsque de nouvelles normes sont adoptées ou que d'anciennes normes sont actualisées, elles entrent en vigueur par étapes successives (soit 5 ans pour une nouvelle norme) pour que les entreprises aient suffisamment de temps pour se préparer à les respecter ou poursuivre les démarches pour les deux autres options offertes par le règlement, soit la norme spécifique à un site ou la norme sectorielle. Les nouvelles normes d'air ambiant sont généralement basées sur les effets cancérigènes et non cancérigènes associées à l'exposition de ces composés.

[1] https://www.ontario.ca/fr/page/regles-sur-la-qualite-et-la-pollution-de-lair#section-0

Ainsi, la norme générale annuelle de nickel et de composés du nickel dans l'air ambiant (Ambient Air Standard) a été actualisée à 0,04 µg/m^3 dans les PST en juillet 2011 pour une mise en vigueur le 1er juillet 2016 (Tableau 6). En juillet 2011, des critères de nickel dans l'air ambiant avaient aussi été établis pour le nickel dans les PM_{10} (24 h et annuel) ainsi que dans les PMT (24 h). Le MOECC avait alors mentionné que la norme annuelle avait été établie sur la base d'effets à long terme (cancer) et qu'il ne fallait pas la convertir sur une base journalière.

En addition à ces normes, une limite de risque supérieure (Upper Risk Threshold - URT) a été établie à 2 µg/m^3 de nickel dans les PST sur une base de 24 h (annexe 6 du règlement 419/05). Si cette limite est excédée à l'une des stations d'échantillonnage d'air ambiant, l'entreprise doit notifier immédiatement le MOECC et a 90 jours pour soumettre un rapport d'inventaire des émissions et de modélisation de la dispersion atmosphérique.

En plus des normes d'air ambiant, le MOECC a émis des critères de qualité de l'air qui peuvent être utilisés pour l'évaluation environnementale des projets. Les documents consultés sur l'industrie du nickel en Ontario ne se réfèrent pas à ces critères (Tableau 6).

Tableau 6 Valeurs limites pour le nickel dans l'air ambiant en Ontario (R. 419/05)

Paramètre	Période	Valeur (µg/m^3)	Référence
Norme Nickel dans les PST	annuel	0,04	Annexe 3 – R.419/05, 20/03/2018
Limite risque supérieur (PST)	24 h	URT : 2	Annexe 6 – R.419/05, 20/03/2018
Critère Nickel dans les PM_{10}	annuel	0,02	AAQC Ontario, juillet 2011
Critère Nickel dans les PM_{10}	24 h	0,1	AAQC Ontario, juillet 2011
Critère Nickel dans les PST	24 h	0,2	AAQC Ontario, juillet 2011

3.3.3 Norme spécifique à un site

Si une entreprise a du mal à respecter une norme sur la qualité de l'air, comme c'est le cas pour l'industrie du nickel, elle peut être autorisée à demander une norme se rapportant spécifiquement à l'endroit qui rejette le polluant en question. La norme qu'elle doit alors respecter consiste en une concentration limite que le directeur du MOECC a approuvée pour le site visé.

Pour demander une norme établie spécifiquement pour un site, (Site Specific Standard – SSS) l'entreprise doit organiser une réunion consultative avec la Direction de l'élaboration des normes du MOECC. Pour organiser une réunion consultative, l'entreprise remet d'abord au ministère l'original de tous les documents indiqués ci-dessous et une copie à la Direction de l'élaboration des normes :

- le formulaire de demande;
- un rapport sur les rejets de polluants et les modèles de dispersion des polluants (Emission Summary and Dispersion Modelling Report), qui doit comprendre :
  - les résultats d'une étude de modélisation ou de surveillance;
  - et une évaluation de la fréquence à laquelle la norme est dépassée et l'importance du dépassement;
- un rapport de référenciation (l'évaluation et la hiérarchisation des moyens techniques de réduire la concentration des polluants et l'évaluation des solutions techniques réalisables);
- une analyse de viabilité économique (facultatif);

› un rapport sur la consultation du public (doivent y être résumés les résultats des réunions publiques au sein de la collectivité locale, ces réunions étant obligatoires);
› un plan d'action, assorti d'un calendrier des délais de mise en œuvre, à mettre à jour sur une base annuelle.

Si la demande est approuvée, elle peut rester en vigueur durant une période d'au moins cinq ans et d'au plus dix ans, afin de garantir une amélioration continue et de pouvoir réévaluer les aspects techniques ou économiques. La norme spécifique au site est renouvelable après la période de dix ans. L'entreprise dépose alors une demande et soumet une mise à jour des rapports techniques et économiques. Le MOECC peut alors exiger la tenue de réunions publiques si les changements proposés sont importants.

En 2017, environ 14 exploitations minières de cuivre-nickel étaient actives dans le nord de l'Ontario, principalement dans les régions de Sudbury et de Timmins. Les deux entreprises principales de nickel de Sudbury se sont prévalues de cette prérogative et ont obtenu des normes spécifiques à leur site valables pour une période de dix ans à partir de leur date de promulgation, soit de 2011 à 2021 pour Vale et de 2016 à 2026 pour Glencore. Le tableau 7 résume les normes de nickel spécifiques aux sites adoptées pour l'industrie du nickel.

Tableau 7 Normes spécifiques de site pour le nickel applicables en Ontario

Entreprise	Période	Norme (µg/m^3)	
Vale (Copper Cliff)		avant le 1 juil. 2016	du 1 juil. 2016 au 28 déc. 2021
Nickel dans les PST	24 h	3,0 (1 juil. 2015 - 1 juil. 2016) 15,0 (28 déc. 2011 - 1 juil. 2015)	URT : 2,0
	annuel	-	1,0
Glencore (Falconbridge)		de 2016 à 2022	de 2023 à 2026
Nickel dans les PST	24 h	URT : 2,0	URT : 2,0
	annuel	0,15	0,066

3.3.4 Norme technique pour l'industrie du nickel

Le MOECC possède des normes sectorielles pour plusieurs industries qui ont été développées en vertu du règlement 419/05 sur la qualité de l'air à l'échelle locale.[2] Il s'agit d'une démarche de conformité fondée sur le secteur pouvant être appliquée lorsqu'au moins deux installations d'un secteur donné sont incapables de se conformer à au moins une norme de qualité de l'air en raison de contraintes techniques ou économiques.

Les normes provinciales de la qualité de l'air sont établies en fonction de la science; par conséquent, une installation ou un secteur peut ne pas être en mesure de les respecter en raison de contraintes techniques ou économiques particulières. Au lieu d'assouplir la norme de qualité de l'air, le règlement permet aux installations ou aux secteurs de dépasser les limites de la norme de qualité de l'air tant qu'ils tentent de réduire leurs émissions atmosphériques à l'aide de solutions fondées sur les technologies et des pratiques exemplaires, dans la mesure du

[2] Registre environnemental de l'Ontario, Sites d'exploitation minière – Norme sectorielle en vertu du règlement sur la qualité de l'air à l'échelle locale (Règlement de l'Ontario 419/05), https://ero.ontario.ca/fr/notice/013-0196.

possible. Ces normes techniques exigent que les entreprises investissent dans les meilleures pratiques et technologies disponibles pour réduire les émissions atmosphériques et améliorer la qualité de l'air au fil du temps. Le MOECC supervise ainsi la progression des entreprises pour s'assurer qu'elles obtiennent les résultats désirés et constater des améliorations dans leurs émissions atmosphériques. Le MOECC utilise ces normes pour évaluer le rendement des installations industrielles.

En 2012, l'Ontario Mining Association (OMA) a demandé que le MOECC élabore une norme technique pour l'industrie du nickel et ses composés. Le MOECC a reconnu qu'il n'était pas techniquement faisable pour deux installations émettant du nickel et ses composés de se conformer aux normes générales de qualité de l'air pour le nickel entrées en vigueur en juillet 2016.

Le 23 mars 2018, le MOECC a promulgué une décision concernant une norme technique pour le secteur minier (la norme sectorielle pour les sites d'exploitation minière) en vertu du Règlement 419/05 de l'Ontario (Air Pollution – Local Air Quality). Cette norme s'applique aux installations définies par les codes 212232 (mines de cuivre-nickel) et 212233 (mines de cuivre-zinc) du SCIAN.

Les contaminants abordés dans cette norme technique sont les suivants [3]:

- le nickel et ses composés;
- les matières particulaires en suspension;
- les autres métaux trouvés dans le gisement de minerai (propres aux sites individuels) et qui pourraient comprendre :
  - le cuivre;
  - le zinc;
  - le cobalt;
  - le cadmium et ses composés.
- Lorsque le MOECC élabore une norme technique, il compare les exigences d'autres juridictions pour des installations similaires et représentatives du secteur d'activités ciblé afin de déterminer si des exigences semblables peuvent être mises en place pour les installations de l'Ontario. De plus, l'élaboration d'une norme technique comprend ce qui suit:
  - un examen détaillé des sources de contaminant(s) propres au secteur;
  - une analyse comparative des technologies de contrôle de la pollution et des pratiques exemplaires de gestion pour prendre ces sources en considération;
  - la prise en considération des problèmes économiques liés au secteur.

Dans le cadre de la norme technique pour l'industrie du nickel (sites d'exploitation minière), différentes démarches de conformité ont été combinées dans une même stratégie qui fera en sorte que :

- les installations auront davantage de responsabilités. Elles devront s'assurer elles-mêmes de leur conformité et stimuler l'amélioration continue;
- le MOECC exercera un contrôle en élaborant des mesures du rendement et en mettant en œuvre des mesures de suivi, au besoin;

[3] Source : https://ero.ontario.ca/fr/notice/013-0196

- un plan d'action spécifique au site (site plan) qui précise les meilleures pratiques appliquées;
- des rapports récapitulatifs annuels devront être produits et signés par la personne occupant le poste plus élevé avec des responsabilités de gestion au sein de l'installation.

Les sources dominantes des principaux contaminants de ce secteur comprennent les suivantes:

- les aires de stockage du matériel minier, y compris les refus de broyage;
- la manutention et le traitement du matériel minier;
- les usines de broyage;
- les galeries de retour d'air dans les mines souterraines;
- les mines à ciel ouvert;
- les routes.

La norme sectorielle destinée à l'industrie du nickel comporte plusieurs exigences dont les suivantes :

- un bâtiment fermé pour l'entreposage des matières fines de l'exploitation minière pour les nouvelles installations;
- si possible, l'application de liants chimiques pour contrôler la poussière et (ou) maintenir un niveau d'humidité qui prévient le rejet des matières particulaires;
- des exigences relatives aux sources situées à 1 km (ou 2 km dans le cas de mines à ciel ouvert) de récepteurs humains, y compris une surveillance communautaire;
- l'utilisation obligatoire d'équipement de contrôle de la pollution de l'air pour les activités de broyage;
- la production de rapports de surveillance annuels, notamment un résumé des mesures prises en réponse aux résultats statistiquement plus élevés découlant de la surveillance;
- des exigences en matière d'exploitation et de surveillance;
- l'obligation de faire des rajustements opérationnels (lorsque des écarts sont notés);
- des procédures pour le traitement des plaintes;
- l'obligation de maintenir les mesures de contrôle de la pollution de l'air ou les méthodes de gestion actuelles de l'installation (même si elles ne sont pas prévues dans la norme technique);
- des exigences plus strictes qui entreront progressivement en vigueur à partir de 2020;
- des exigences relatives au signalement par le public, aux avis et à la tenue de dossiers.

Les exigences de la norme technique sectorielle sont présentées de façon plus détaillée à la section 5.1 de ce rapport. La norme sectorielle précise en préambule qu'une entreprise adhérant à la norme sectorielle n'a plus besoin d'effectuer de modélisations de la dispersion atmosphérique des contaminants émis par ses installations.

3.4 Autres normes provinciales sur le nickel

La compagnie Vale exploite du nickel dans deux autres provinces canadiennes soit :

- Terre-Neuve dont l'exploitation de la mine de nickel de Voisey's Bay et de la fonderie de Long Harbour (58 000 t/an) ont commencé en 2014;
- Manitoba, à Thompson où 82 000 t/an d'anodes de nickel y sont produites depuis les années 1970. Vale a annoncé à la fin 2017 la fermeture de cette usine d'ici deux ans.

À Terre-Neuve, la norme sur 24 h de nickel dans l'air ambiant est de 2 µg/m^3 dans les PST.

Le même critère (guideline) d'air ambiant est en principe applicable au Manitoba, dont la dernière mise à jour date de 2005. Le critère manitobain est tiré directement des critères d'air ambiant de l'Ontario de 2001. Nous notons que le nickel n'a pas fait l'objet d'une évaluation des impacts des émissions de nickel sur la qualité de l'air ambiant pour l'autorisation du projet Minago de la minière Victory Nickel (Étude d'impact soumise le 30 avril 2010, et mise à jour en décembre 2013). Ce projet concerne une mine à ciel ouvert avec une production de 46 000 tonnes de concentré à 23% Ni, dont la construction et l'exploitation n'ont pas été débutés.

3.5 Michigan

Trois critères de santé sont disponibles au Michigan soit le ITSL, le IRSL et le SRSL. Le ITSL (Initial Threshold Screening Level) est un critère de santé développé pour les effets non cancérigènes d'un toxique. Le SRSL (Secondary Risk Screening Level) est utilisé par le Department of Environment Quality (DEQ) du Michigan pour évaluer les demandes de permis d'émissions à l'atmosphère d'une installation qui comporte plusieurs sources d'émission de contaminants, à la condition préalable que chaque source applique la règle de la meilleure technologie de contrôle disponible pour les toxiques. Le niveau défini (SRSL) correspond à la concentration limite supérieure de risque additionnel de développer un cas de cancer par 100 000 individus, suite à une exposition continue à cette concentration sur la vie durant (70 ans). Dans le cas du critère IRSL (Initial Risk Screening *L*evel), il s'agit d'un risque de cancer additionnel par million d'individus. Ce critère est utilisé seulement pour évaluer les demandes de permis applicables à une nouvelle source de toxique ou à une source modifiée. S'il n'est pas possible de respecter le critère IRSL, l'installation peut se prévaloir d'une seconde option, soit d'inclure l'ensemble des sources d'émissions de toxiques afin de démontrer la conformité au critère SRSL. Les concentrations ambiantes ne peuvent en aucun cas excéder les critères de santé applicables.

Dans sa dernière version de ses critères de santé datant du 2 mai 2018, le DEQ du Michigan évoque pour le nickel un IRSL de 0,0058 µg/m^3 et un SRSL de 0,058 µg/m^3 dans les PM_{10} retenus en août 2017. C'est aussi la seule juridiction qui possède (depuis 1991) des critères applicables pour le nickel sulfidique (Ni_3S_2), soit 0,0021 µg/m^3 pour l'IRSL et 0,021 µg/m^3 pour le SRSL. Le Michigan n'a pas retenu de critère pour les effets non cancérigènes du nickel. *La conformité au critère IRSL de l'époque (Foth & Van Dyke and associates, inc., 2005) a été démontrée pour la mine Eagle, soit une valeur maximale annuelle prédite de 0,00295 µg/m^3 de Ni dans les PST à la limite de propriété pour l'ensemble des sources de la mine par rapport à un critère IRSL de 0,0042 µg/m^3 (voir étude de cas à la section 4.5).*

3.6 Californie

L'agence de protection de l'environnement de la Californie, ou plus précisément le California Air Resources Board (CARB), a établi des normes de qualité de l'air ambiant pour dix contaminants principaux (criteria pollutants). Le CARB a aussi identifié environ 200 substances toxiques pour lesquels le bureau d'évaluation des dangers à la santé (Office of Environmental Health Hazard Assessment ou OEHHA) a établi des Valeurs toxiques de référence (VTR – désigné en Californie par le terme Reference Exposure Levels ou REL). Les substances toxiques peuvent causer des effets sérieux à long terme, tel le cancer, même à de faibles valeurs d'exposition. La plupart de ces substances toxiques n'ont pas de niveaux sécuritaires connus, et peuvent s'accumuler dans le corps humain suite à des expositions répétées. Des mesures ont ainsi été mises en place et continuent d'être adoptées pour réduire les émissions de ces substances toxiques en Californie. Le nickel et les composés du nickel font partie des 200 substances toxiques, pour lesquelles des REL ont été établies. Le MELCC s'est inspiré de l'approche californienne pour développer la norme de qualité de l'air ambiant sur 24 h du nickel dans les PM_{10}.

3.6.1 Cadre réglementaire

La Californie est divisée en 35 districts locaux de gestion de la qualité de l'air qui sont responsables de l'émission des permis environnementaux pour l'industrie et des programmes relatifs à la qualité de l'air. L'encadrement réglementaire peut être résumé comme suit :

- Toxic Air Contaminant Identification and Control Act (AB 1807, Tanner 1983) : Cette loi sur l'identification et le contrôle des contaminants atmosphériques toxiques a créé le programme californien pour réduire l'exposition des humains aux substances toxiques.
- Air Toxics "Hot Spots" Information and Assessment Act (AB 2588, Connelly 1987) : Cette loi fournit un supplément au programme AB 1807 en fournissant un inventaire des rejets toxiques en Californie, en exigeant la publication d'avis aux populations exposées face à un risque significatif sur la santé, et en exigeant des plans d'action pour les installations en cause pour réduire ces risques.

Le CARB doit utiliser des critères de priorisation pour l'identification et le contrôle des toxiques à l'atmosphère. La classification de ces substances comme toxiques doit considérer des critères de risques de danger à la santé publique, les quantités émises, leur persistance dans l'atmosphère, et leurs concentrations ambiantes dans la communauté.

Le programme AB 1807 de 1983 a établi une approche en deux étapes, toujours utilisée à ce jour. La première étape a concerné l'identification des toxiques par le CARB et l'OEHHA. Durant ce processus, le CARB et l'OEHHA ont déterminé si une substance devait être formellement identifiée comme un toxique en Californie. Le CARB évaluait le potentiel d'exposition à la substance tandis que l'OEHHA en évaluait les effets sur la santé. Le processus était ouvert au public. Après la tenue d'ateliers et de périodes de revue par le public, un rapport était préparé qui comprenait une trace écrite des commentaires du public et de la façon dont ils avaient été adressés. Le rapport était ensuite soumis à un panel scientifique de neuf membres qui le révisait en fonction de sa précision scientifique. Une fois le rapport approuvé par le panel, le CARB a préparé un avis d'audience et un règlement préliminaire qui identifiait formellement la substance comme un contaminant atmosphérique toxique (CAT). Le CARB prenait ensuite la décision définitive de reconnaitre la substance comme un CAT.

La deuxième étape visait la gestion du risque alors que le CARB revoyait les émissions des diverses sources du CAT afin de déterminer si une action légale était nécessaire pour réduire le risque. L'analyse incluait une revue des contrôles en place, des technologies disponibles, et du risque associé. Le soutien public était un élément essentiel au développement d'un plan de contrôle et de toute mesure de contrôle pour s'assurer que les efforts du CARB étaient efficaces (économiques) et balancés de façon appropriée entre la protection de la santé publique et la croissance économique.

En septembre 1987, le programme AB 2588 était mis en œuvre afin d'exiger que les installations rapportent aux autorités compétentes leurs émissions de CAT, déterminent les risques à la santé associées à leurs installations, et en notifient leurs voisins. En septembre 1992, la Loi AB 2588 était amendée (Loi du Sénat 1731) pour que les installations qui posaient un risque significatif à la santé de leur communauté le réduisent au moyen d'un plan de gestion des risques.

La Loi AB 2588 demande aux districts locaux de gestion de la qualité de l'air de prioriser (basse, intermédiaire ou haute priorité) les installations en vue de déterminer celles qui doivent faire l'objet d'une analyse des risques à la santé. La priorisation tient compte des émissions de CAT de l'installation, de sa proximité avec les récepteurs sensibles (hôpitaux, écoles, garderies, résidences, etc.) et d'autres facteurs jugés essentiels par le district. Les installations pressenties comme hautement prioritaires doivent soumettre une analyse des risques à la santé (Health Risk Assessment ou HRA) dans les 150 jours suivant la publication de l'avis du district de procéder à une telle étude. Dans la même foulée, un district peut aussi exiger la réalisation d'un HRA dans le cadre d'une autorisation environnementale sur une installation donnée.

Au Québec, la réalisation d'une analyse de risque toxicologique relève de projets de sols contaminés, mais ne sont pas exigées comme telles pour les études d'impact sur l'environnement, menant à l'autorisation de projets, à moins de situations particulières. Les promoteurs qui présentent une analyse de risque toxicologique le font de leur propre chef, comme ce fut le cas pour la mine Dumont (Sanexen, 2014).

3.6.2 Analyse de risques toxicologiques pour la santé humaine

En Californie, les HRA doivent être réalisées selon le Guide d'évaluation des risques pour la santé du OEHHA. L'analyse de risque décrit le type de polluant et leur quantité auxquels une personne peut être exposée et estime le risque potentiel de cancer ou d'effets non cancérogènes pour le niveau d'exposition prédit en utilisant des modèles mathématiques conçues pour la protection de la santé publique. De façon générale, le Guide d'analyse de risque du OEHHA adopte une approche classique en analyse de risque toxicologique similaire aux analyses déposées au MELCC (ex. la mine Dumont).

L'OEHHA met à la disposition de tous le progiciel Hot Spots Analysis and Reporting Program (HARP), un outil composé de trois modules :

- Le module d'inventaire des émissions;
- L'outil de modélisation de la dispersion atmosphérique (AERMOD) et d'évaluation des risques pour la santé;
- Un outil séparé d'évaluation des risques pour la santé selon les principes énoncés dans le Guide d'évaluation des risques.

Une revue sommaire de ce Guide montre des différences comparativement à la pratique québécoise au point de vue de la modélisation de la dispersion atmosphérique des contaminants. Ainsi, il est demandé de quantifier chaque source sur une base horaire maximale et sur une base moyenne annuelle. Les émissions maximales horaires sont utilisées pour évaluer les impacts sur la santé non cancérogène aigus (sur 1 h). Les émissions moyennes annuelles sont utilisées pour évaluer les expositions chroniques, i.e. les impacts chroniques et les effets aigus sur 8-h non cancérigènes, de même que les effets cancérigènes. Des isoplèthes (courbes d'isoconcentration) sont demandées pour les concentrations horaires maximales, maximales sur 8-h (maximums des 5 ans simulés), et annuelle (moyenne des 5 ans simulés), de même que pour l'évaluation du risque de cancer. Ces isoplèthes permettent ainsi de visualiser l'étendue de l'exposition aux CAT émis par l'installation sur la communauté.

Au Québec, cette notion de concentration horaire maximale est appliquée différemment pour les installations existantes, pour lesquelles des données de caractérisation des sources d'émissions sont disponibles. Dans l'optique où la caractérisation des émissions d'un contaminant à la cheminée comporte trois essais d'une durée de 1 à 3 heures selon le cas, le MELCC demande d'utiliser la plus haute valeur des trois essais pour les simulations de dispersion des périodes de 4 minutes jusqu`à 24 h, inclusivement. La valeur moyenne des trois essais est utilisée pour des périodes supérieures à 24 h (annuel, saisonnier ou autre). Ces nuances ne sont généralement pas applicables pour des installations futures, pour lesquelles les études de dispersion atmosphérique sont généralement réalisées en fonction des garanties d'émission des fournisseurs de technologie d'épuration, d'estimations techniques fournies par le promoteur ou de facteurs d'émission généraux.

Le Guide du OEHHA demande le calcul des concentrations maximales modélisées aux trois récepteurs suivants :

- Au point d'impact maximum, à l'extérieur des limites de propriété de l'installation (idem au Québec, bien qu'on rapportera également le maximum à l'extérieur des secteurs zonés à des fins industrielles);
- À la résidence la plus exposée (idem au Québec, qui en fait une exigence de calculer les concentrations maximales aux résidences permanentes à l'intérieur des secteurs zonés à des fins industrielles à l'article 202 du RAA);
- Au point du travailleur hors-site (i.e. un travailleur d'une industrie voisine) le plus exposé, pour tenir compte du fait que des travailleurs sont exposés aux émissions des installations 8h/j, 5j/sem. Le Québec n'a pas de dispositions à cet égard.

L'analyse HRA est revue par le district concerné et l'OEHHA, qui approuvent l'étude ou émettent leurs commentaires pour fin de correction et de nouvelle soumission le cas échéant. Si l'étude n'est pas resoumise dans les 60 jours de l'avis, le district peut modifier l'analyse à son gré et l'approuver telle que modifiée.

L'analyse HRA fait la somme des ratios « concentration maximale prédite / REL » des divers contaminants émis par les installations. Il s'ensuit après coup une approche de gestion du risque:

- Si l'index global est supérieur à 1 pour les effets non cancérigènes ou à 1 chance sur un million (1×10^{-6}) pour les effets cancérigènes, le district peut requérir l'installation de la meilleure technologie de contrôle disponible (TBACT) pour une source d'émission nouvelle ou modifiée pour les toxiques concernés.

- Le district peut aussi émettre un permis pour une source nouvelle ou modifiée si l'index est inférieur à 1 pour les effets non cancérigènes ou si le risque de cancer ne dépasse pas 25 x 10^{-6}.
- Le district n'émettra en principe pas de permis si les niveaux de risque ci-haut sont dépassés.
- Dans certains cas, le district peut déroger à ce principe et conclure que l'émission d'un permis est appropriée même si les niveaux de risque sont dépassés. Les raisons motivant cette décision incluent, sans s'y limiter, le fait que les sources utilisent des TBACT, que les sources supportent des biens ou des services publics essentiels, etc.
- Il pourrait aussi se produire la situation inverse : même si les niveaux de risques pour la santé de l'installation ne dépassent pas les limites prévues ou acceptables, un district pourrait refuser d'émettre un permis si la source mène à un dépassement régional des niveaux de risques permis ou pour d'autres considérations découlant des programmes, règles ou politiques d'émission des permis du district.
- Dans les cas d'installations existantes, le district peut recommander un plan de réduction du risque avec une cible n'excédant pas un risque de 100 x 10^{-6} de cancer ou un index de danger non cancérigène inférieur ou égal à 10,

Dans tous les cas où les indices de risques sont dépassés (> 1 x 10^{-6} pour le risque d'effet cancérigène et/ou > 1 pour l'index des effets non cancérigènes), l'installation est tenue de notifier le public et les travailleurs concernés par ces dépassements (soit par lettre, annonce dans les journaux, etc.). L'installation peut également être tenue de réduire ses émissions par la mise en œuvre d'un plan de réduction des risques.

3.6.3 Détermination des REL

Pour chaque substance toxique, l'OEHHA a fait une revue des effets cancérogènes et non cancérogènes et a établi trois valeurs toxiques de référence (VTR) appelés REL (Reference Exposure Levels) auxquels les résultats d'analyses de risques doivent être comparés. Un REL représente le niveau de concentration à ou sous lequel aucun effet adverse pour la santé sont anticipés pour la durée d'exposition spécifiée. Les REL sont basés sur l'effet adverse le plus sensible et pertinent sur la santé rapporté dans la documentation médicale ou toxicologique. Les REL sont conçus pour protéger les individus les plus sensibles par l'intégration de facteurs qui tiennent compte des incertitudes aussi bien que des différences individuelles dans la réponse du corps humain aux expositions chimiques. Les facteurs utilisés pour le calcul des REL sont conçus pour protéger la santé publique et ainsi éviter de sous-estimer les risques non cancérogènes. Le dépassement d'un REL n'indique pas automatiquement un impact adverse sur la santé. Toutefois, l'accroissement des concentrations ambiantes au-dessus d'une valeur REL accroit la probabilité d'occurrence d'un effet sur la santé (OEHHA, Feb 2015).

Le OEHHA a révisé ses REL pour le nickel en février 2012. Ceux-ci s'appliquent au nickel et aux composés du nickel incluant l'acétate de nickel, le carbonate de nickel, le carbonyle de nickel, l'hydroxyde de nickel, le nickelocène les poussières du procédé pyrométallurgique des raffineries de nickel, et le sous-sulfure de nickel. Une distinction est faite pour l'oxyde de nickel auquel l'OEHHA a attribué un REL chronique par inhalation plus élevé (0,02 µg/m^3). Le OEHHA précise que les distributions des diamètres de particules utilisées dans les études sur les animaux constituent un substitut raisonnable pour les émissions de $PM_{2.5}$ et de PM_{10} émises par les sources fixes et possiblement les sources mobiles.

Voici un sommaire des REL résultant du travail d'analyse du OEHHA :

- REL aigu de 0,2 µg/m^3 pour une exposition d'une heure. Cette valeur découle d'une étude menée par Graham et al. sur des souris via l'inhalation de chlorure de nickel. L'effet critique retenu est la diminution du système immunitaire (anticorps). La dose benchmark, soit la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95%, a été déterminée à 165 µg/m^3 pour une exposition de deux heures. Cette valeur est ramenée à 233 µg/m^3 pour une exposition d'une heure. Un facteur d'incertitude global de 1 000 est ensuite appliqué pour obtenir le REL aigu de 0,2 µg/m^3 sur une heure.
- REL aigu de 0,06 µg/m^3 pour des expositions répétées de 8 h. Cette valeur découle de l'étude menée par le NTP (1994) chez les rats (mâles et femelles) exposés à du nickel via l'inhalation de sulfate de nickel. Les effets critiques retenus sont les effets sur les systèmes immunitaire et respiratoire, plus spécifiquement l'hyperphasie des macrophages alvéolaires, la protéinose alvéolaire ainsi que l'inflammation active chronique pulmonaire observés après 13 semaines d'exposition (0,12 à 0,5 mg/m^3, 6,2h/j, 5j/sem, de 16 j à 24 mois). Une NOAEL ajustée pour une exposition de 8 h a été estimée à 5,7 µg/m^3. Un facteur d'incertitude global de 100 est ensuite appliqué pour obtenir le REL aigu sur 8 h de 0,06 µg/m^3.
- REL chronique annuel de 0,014 µg/m^3, soit 4,0 x 10^{-6} mg/kg.j par voie orale. Cette valeur est tirée de la même étude que le REL sur 8 h. Les effets critiques retenus pour l'inhalation concernent les effets pulmonaires et hématologiques. Les effets critiques retenus pour la voie orale concernent les effets sur le système reproducteur et le développement. Une dose benchmark (BMDL) de 30,5 µg/m^3 a été établie sur la base des valeurs obtenues pour la protéinose alvéolaire pulmonaire des rats exposés. Cette BMDL a été ajustée pour une exposition continue (30,5 x 6h/24h x 5j/7j = 5,4 µg/m^3), équivalente pour l'humain de 1,4 µg/m^3 (facteur d'ajustement dosimétrique de 0,26). Un facteur d'incertitude global de 100 est ensuite appliqué pour déterminer le REL chronique de 0,014 µg/m^3.

On constate d'une part que la norme québécoise de nickel sur 24 h, liée à un effet aigu soit la diminution du système immunitaire, correspond en fait au VTR (REL) chronique annuel de la Californie. Cette différence est due au fait que le MELCC a utilisé une relation linéaire (ten Berge) pour dériver la norme sur 24 h à partir des résultats d'exposition expérimentale sur 2 h (165 µg/m^3) de l'étude de Graham (1979). La Californie utilise une formule d'ajustement du temps $C^n \times T = K$ où C = concentration d'exposition (en µg/m^3), n = 2, T = durée d'exposition (en h) et K est une constante calculée à partir des résultats expérimentaux de base, soit dans le cas de l'étude de Graham : $K = 165^2 \times 2 = 54\,450$.

La concentration C à la durée d'exposition t recherchée devient $C_t = (K/T)^{1/n}$. En appliquant ce principe, l'OEHHA a déterminé une concentration de base de 82 µg/m^3 pour l'extrapolation des données de l'étude de Graham à une durée d'exposition de 8 h (OEHHA, 2015, p.104), mais a finalement retenu un critère REL plus strict basé sur une étude sur les rats.

Un exercice similaire sur 24 h donne 48 µg/m^3 soit :

$$C_{8\,h} = (54\,450 / 8)^{1/2} = 82\ \mu g/m^3$$
$$C_{24h} = (54\,450 / 24)^{1/2} = 48\ \mu g/m^3$$

En considérant un facteur d'incertitude cumulative de 1 000, une valeur de 0,048 µg/m^3 sur 24 h serait obtenue au lieu d'une valeur de 0,014 µg/m^3 basée sur une approche linéaire.

3.6.4 Facteur de risque pour le cancer

Un risque unitaire de 2,6 x 10^{-4} est suggéré (OEHHA, 2009) pour une exposition pendant toute la vie à une concentration moyenne de nickel de 1 µg/m^3 dans l'air ambiant. Le risque unitaire est exprimé en termes de probabilité de cas additionnels de cancer par 1 µg/m^3 de contaminant dans l'air ambiant. Les concentrations correspondantes à un cas additionnel de cancer pour 10 000, 100 000 et 1 000 000 de personnes sont environ 385, 38 et 3,8 µg/m^3. Ces facteurs de risque sont plus hauts que ceux émis par l'OMS de 250, 25 et 2,5 µg/m^3 (section 3.1)

3.7 Texas

Le MELCC s'inspire parfois des critères d'air ambiant du Texas, où sont préparés des documents étoffés en lien au développement et l'établissement de valeurs de toxicité relatives aux substances chimiques.

Les niveaux de 'dépistage' des effets (Effects Screening Level ou ESL) sont des niveaux utilisés par le TCEQ (Texas Commission on Environment Quality) dans leur processus d'autorisation des émissions atmosphériques pour évaluer les impacts prévus et les résultats des études de dispersion atmosphérique. Ils sont utilisés pour évaluer le potentiel d'effets résultant de l'exposition à des concentrations de contaminants dans l'air. Les ESL sont basés sur des données concernant les effets des contaminants sur la santé, le potentiel de nuisance olfactif et les effets sur la végétation. Ce ne sont pas des normes d'air ambiant. Si les niveaux de concentration ambiante du contaminant ne dépassent pas les ESL, des effets néfastes sur la santé ou le bien-être ne sont pas attendus. Si les niveaux prédits de contaminants dans l'air ambiant dépassent les niveaux ESL, cela n'indique pas nécessairement un problème mais un examen plus approfondi est alors déclenché.

Des niveaux ESL à court et à long terme ont été développés. "Court terme" représente généralement une période de calcul d'une heure alors que "Long terme" représente une période de calcul moyenne annuelle.

Le TCEQ a développé des critères court et long terme pour le nickel et les composés inorganiques de nickel (TCEQ, 2011) qui doivent être pris en considération lors de la revue des permis d'émissions atmosphériques. Le ESL chronique à long terme (annuel) défini pour le nickel et ses composés est de 0,059 µg/m^3, basé sur un facteur de risque unitaire de cancer par inhalation de 1,7 x 10^{-4} par µg/m^3. Ce niveau d'exposition de 0,059 µg/m^3 représente un risque additionnel de cancer du poumon de 1 cas par 100 000 personnes, soit le niveau de risque jugé non significatif par le TCEQ pour les substances cancérigènes.

Le TCEQ a développé son facteur de risque à partir d'études épidémiologiques où les travailleurs étaient exposés à de faibles niveaux de nickel sulfidique, jugé plus cancérigène que les autres formes de nickel. Le nickel sulfidique est associé aux raffineries de nickel.

Le ESL à court terme (1h) pour la revue des permis est de 0,33 µg/m^3 basé sur une valeur de référence de 1,1 µg/m^3 pour des effets de constriction des bronches pour des volontaires au prise avec des problèmes d'asthme en milieu de travail. Un facteur de 0,3 est appliqué à cette valeur de référence pour tenir compte du risque agrégé et cumulatif, lors des revues de permis.

3.8 Australie

La majeure partie des mines de nickel se trouvent dans l'état de l'ouest de l'Australie (Western Australia - WA). La revue des critères de nickel dans l'air ambiant se base principalement sur les documents disponibles pour cet état. En Australie, comme dans l'état de WA, il n'y a pas de norme de nickel dans l'air ambiant.

À ce jour, les caractérisations de métaux lourds dans l'air ambiant ont été peu nombreuses en Australie. En 2005, des caractérisations de métaux lourds ont eu lieu dans le parc industriel de Kwinana, au sud de Perth (Kwinana Industries Council). Les résultats (maximum journalier de 20 ng/m^3; moyenne annuelle de 4 ng/m^3) rapportés à Hope Valley avaient été comparés à la norme sur 24 h de 2 µg/m^3 alors en vigueur en Ontario et à la norme annuelle de 15 ng/m^3 alors en vigueur au Texas. Les émissions de nickel à l'atmosphère du parc industriel étaient estimées à 1,35 t/an, émanant surtout de la raffinerie Nickel West Kwinana située à 7 km de Hope Valley et qui produisait à l'époque 40 000 t/an de nickel (production de plus de 80 000 t/an en 2017).

Port Esperance, sur la côte sud de l'état de WA fait le suivi des concentrations de nickel dans les PST depuis 2008. Une norme d'air ambiant sur 24 h de 0,14 µg/m^3 de nickel dans les PST y est en vigueur depuis janvier 2009 (Licence 5099/1974/12 du WA Département de la règlementation environnementale). La section 4.4.1 du présent rapport résume les informations et données pertinentes au nickel à Port Esperance.

La revue d'études d'impact récentes réalisées pour des projets de nouvelles installations de nickel en Australie a permis d'établir que l'enjeu du nickel dans l'air ambiant et de son impact sur la santé avait été parfois analysé, au cas par cas. Les niveaux de référence cités dans les études d'impact étaient basés sur des valeurs similaires à la directive de l'OMS développée pour un cas de cancer additionnel par million d'individus (2,5 et 3 ng/m^3 au Queensland et dans l'état de WA). Dans les deux cas, il s'agissait de nouvelles installations. La revue de ces projets est présenté aux sections 4.4.2 (projet de raffinerie de Gladstone Pacific Nickel Limited) et 4.4.3 (projet de mine et de concentrateur nickel-cobalt à Wingellina, WA).

Par ailleurs, les projets d'expansion ou de modification d'installations minières existantes n'ont pas à soumettre une évaluation des niveaux de nickel dans l'air ambiant pour fin d'autorisation. Notre revue des dossiers pour lesquels des études d'impact récentes ont été déposées pour des modifications à des installations existantes ne traitent pas de cette question, soit Ravensthorpe (décision obtenue en janvier 2017) et le projet Nova Nickel (pas de EIE requise, 2014) qui expédient tous deux leur concentré à l'étranger par Port Esperance, ainsi que le projet de modification des installations de la mine Sunrise – Ni, Co, Sc – au New South Wales par l'entreprise Clean Teq (EIE novembre 2017).

Le 19 novembre 2018, l'EPA du WA a approuvé le projet de mine satellite de BHP Billiton pour construire et opérer une nouvelle installation d'extraction de sulfure à basse teneur de nickel à 20 km au sud des installations du Mt Keith, et à 80 km au nord de la communauté la plus proche, Leinster. Ce projet comporte l'ouverture de deux mines à ciel ouvert, une aire de dépôt des stériles, de même que l'extraction et un nouveau corridor pour le transport de 9,6 mtpa de minerai jusqu'à l'usine de traitement existante du Mt Keith (WA EPA, novembre 2018). L'étude d'impact déposée incluait une étude de dispersion des particules (PST, PM_{10} et $PM_{2.5}$) avec le modèle AERMOD, sans égard à un critère de nickel dans les PST ou les PM_{10} (Ramboll, mars 2017).

Les méthodes approuvées pour la modélisation et l'évaluation des polluants de l'air au New South Wales (NSW EPA, janvier 2017) font mention de critères de qualité de l'air à respecter 99,9% du temps pour les toxiques au récepteur sensible le plus proche, qu'il soit existant ou futur. Un critère horaire de 0,18 µg/m^3 a été promulgué pour le nickel (dans les PST) en 2001 dans la Gazette du gouvernement victorien. On comprend ici qu'il s'agit uniquement de la concentration limite à respecter pour une modélisation de la dispersion atmosphérique, puisque les mesures sont effectuées sur des périodes de 24 h. La comparaison à ce critère a été relevée dans une étude de dispersion atmosphérique réalisée en 2017 pour un projet de pyrolyse de déchets de plastique à 11 km de l'aéroport de Canberra (Todoroski, 2017).

3.9 Union Européenne

3.9.1 Valeur cible pour le nickel

Le 15 décembre 2004, l'Union européenne qui regroupe 28 pays adoptait la 4^e Directive (no 2004/107/CE) concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'air ambiant (Tableau 8). Pour les HAP, le benzo(a)pyrène (B(a)P) est utilisé comme traceur du risque cancérigène lié aux HAP dans l'air ambiant. Ces valeurs cibles sont entrées en vigueur le 31 décembre 2012[4]. À titre indicatif, les normes de qualité de l'air du Québec, ajoutées au tableau 8, sont plus strictes que celles de l'Union européenne.

Tableau 8 Valeurs cibles et seuils d'évaluation de l'Union européenne - As, Cd, Ni et B(a)P dans les PM_{10}

Critère – Directive 2004/107/CE	Arsenic (ng/m^3)	Cadmium (ng/m^3)	Nickel (ng/m^3)	B(a)P (ng/m^3)
Valeur cible annuelle	6	5	20	1
Seuil annuel d'évaluation minimal	2,4	2	10	0,6
Seuil annuel d'évaluation maximal	3,6	3	14	0,4
Norme d'air ambiant Québec	3 (annuel)	3,6 (annuel)	14 (24 h)	0,9 (1)

(1) Au Québec, la concentration des composés cancérigènes d'HAP dans l'air ambiant doit être exprimée en équivalent toxique du B(a)P, selon les facteurs définis au RAA. La somme de l'ensemble des concentrations de composés de HAP doit être comparée à la norme du RAA sur le B(a)P (0,9 ng/m^3). L'approche est similaire pour la communauté européenne.

Dans le droit européen, une valeur cible constitue une concentration maximale dans l'air ambiant qui est fixée sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution de l'air sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble. Elle doit être atteinte dans la mesure du possible, dans un délai déterminé, sans impliquer de mesures entraînant des coûts disproportionnés. En ce qui concerne les installations industrielles, les valeurs cibles ne devraient pas entraîner de mesures qui aillent au-delà de l'application des meilleures technologies disponibles (MTD) exigée par la directive 96/61/CE relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution ni, en particulier, la fermeture d'installations.

3.9.2 Seuils d'évaluation et stations de mesure

La Commission européenne demande que les États membres tiennent compte des valeurs cibles dans l'évaluation et l'autorisation des projets industriels. La Directive 2015/1480 adoptée

[4] Source : http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm

en 2015 a aussi imposé au minimum deux stations de mesure par pays, et des stations implantées à tous les 50 000 km^2 pour évaluer les concentrations de fond.

Le dépassement des seuils d'évaluation maximal et/ou minimal (voir tableau 8 pour le nickel) est déterminé sur la base des concentrations mesurées au cours des cinq années précédentes pour lesquelles des données suffisantes sont disponibles. Un seuil d'évaluation est considéré comme dépassé s'il a été franchi pendant au moins trois années de calendrier au cours de ces cinq années précédentes.

En principe, si les niveaux de polluants mesurés en moyenne annuelle sont supérieurs au seuil d'évaluation maximal, les mesures avec des stations permanentes de suivi de l'air ambiant sont obligatoires. Le nombre de stations (entre 1 et 6) à implanter dépend de la population de la zone ou de l'agglomération concernée.

Si les niveaux de polluants sont inférieurs au seuil d'évaluation minimal, il n'y a pas lieu de mettre en place des stations de suivi de l'air ambiant. Les concentrations sont alors évaluées par une modélisation de la dispersion atmosphérique des contaminants.

Si les niveaux modélisés excèdent le niveau minimal sans dépasser le niveau maximal d'évaluation, des stations de mesure sont également requises, mais avec une station, ou deux si la population de la zone est supérieure à 3,75 millions de personnes.

Lorsqu'il s'agit d'évaluer les contributions des sources industrielles, au moins une station de mesure dite 'industrielle' est installée dans l'axe des vents dominants par rapport à la source dans la zone résidentielle la plus proche. Si la concentration de fond n'est pas connue, un point de prélèvement supplémentaire est installé dans la direction principale du vent. En particulier, en cas de dépassement de la valeur cible, les points de prélèvement devraient être placés de sorte que la mise en œuvre des MTD puisse être contrôlée.

3.9.3 Transmission des informations - dépassement de la valeur cible

Pour les zones et agglomérations où la valeur cible est dépassée, les États membres déterminent les secteurs de dépassement et les sources qui y contribuent. Pour les secteurs concernés, les États membres doivent démontrer qu'ils appliquent toutes les mesures nécessaires n'entraînant pas des coûts disproportionnés, visant en particulier les sources d'émission prédominantes, de façon à atteindre les valeurs cibles. Pour les installations industrielles relevant de la directive 96/61/CE, cela signifie l'application de MTD.

En ce qui concerne les zones et agglomérations où la valeur cible est dépassée, les États membres transmettent les informations suivantes à la Commission européenne:

1. La liste des zones et agglomérations concernées;
2. Les secteurs de dépassement;
3. La gamme de valeurs des concentrations évaluées ou mesurées;
4. Les causes du dépassement, et en particulier les sources qui y ont contribué ;
5. La population exposée à ces dépassements;
6. Les mesures nécessaires n'entraînant pas de coûts disproportionnés, c'est-à-dire l'application de MTD visant en particulier les sources d'émission prédominantes, de façon à atteindre la valeur cible.

Les États membres communiquent également toutes les données de mesures à moins que celles-ci aient déjà été communiquées en vertu d'un échange réciproque d'informations et de données provenant des réseaux et des stations individuelles mesurant la pollution de l'air ambiant dans les États membres.

Les informations sont transmises pour chaque année civile au plus tard le 30 septembre de l'année suivante. La Commission s'assure de rendre l'information publique rapidement par des moyens appropriés (médias, internet, etc.).

En 2015, environ 97% des 595 stations de mesure des 26 pays européens ont rapporté des valeurs annuelles inférieures au seuil d'évaluation minimal de 10 ng/m^3 pour le nickel. La valeur cible de 20 ng/m^3 a été dépassée à deux stations industrielles, un en Norvège et un au Royaume-Uni, avec des valeurs annuelles entre 20 et 30 ng/m^3. La section 4.2 du présent rapport dresse un portrait de la situation pour ces deux stations industrielles où la valeur cible a été dépassée.

3.9.4 Critères d'air ambiant de la Norvège

Bien que les États européens soient tous liés par la Directive 2004/107/CE, rien n'empêche ceux-ci de se doter de critères de qualité de l'air plus stricts que ceux de la Communauté européenne. En février 2018, l'Agence de l'environnement et l'Institut de Santé publique de la Norvège ont établi des critères de qualité de l'air ambiant annuels pour plusieurs métaux dont le nickel (10 ng/m^3 dans les PM_{10}), qui fixent les niveaux considérés sûrs pour la majorité de la population. L'Agence nous a informés que ces critères ne sont pas contraignants au plan légal (communication personnelle, 14 avril 2018).

Le tableau 9 compare les critères adoptés par la Norvège aux valeurs cibles et limites de la Commission européenne et aux normes d'air ambiant du MELCC. En général, les critères norvégiens sont du même ordre de grandeur que les normes du RAA, sauf le chrome VI (40 fois plus bas), le mercure (40 fois plus haut), le manganèse (5 fois plus haut) et le vanadium (5 fois plus bas). Le critère norvégien du nickel est similaire mais du fait qu'il soit une base annuelle, il est nécessairement moins contraignant que la norme journalière québécoise, même si la valeur du critère est plus basse.

Tableau 9 Critères norvégiens de qualité de l'air ambiant pour les métaux

Substance	Période	Unités	Norvège	CEE	Québec
Arsenic	Annuel	ng/m^3	2	6 (VC)	3 (N)
Plomb	Annuel	µg/m^3	0,1	0,5 (VL)	0,1 (N)
Cadmium	Annuel	ng/m^3	2,5	5 (VC)	3,6 (N)
Chrome (VI)	Annuel	ng/m^3	0,1		4 (N)
Mercure	Annuel	ng/m^3	200	50 (VC)	5 (N)
Manganèse	Annuel	µg/m^3	0,15		0,025 (Cr)
Nickel	Annuel	ng/m^3	10	20 (VC)	14 (24 h) (N)
Vanadium	24 h	µg /m^3	0,2		1 (N)

N : Norme, VL : valeur limite; VC : valeur cible, Cr : critère

3.10 Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie était le 6^e producteur mondial de nickel en 2017. Cette collectivité dispose d'un statut particulier de large autonomie par rapport à la France : elle possède ses propres lois et règlements, incluant en matière d'environnement. Les Codes de l'environnement

applicables dans chacune des trois provinces (Sud, Nord, iles Loyauté) visent surtout les installations classées, c'est-à-dire les activités à caractère industriel ou agricole susceptibles d'entraîner des risques pour l'environnement à travers des dispositions telles la demande d'autorisation, la mise en demeure de régularisation, la cessation d'activité et la fermeture.

Il n'y a présentement pas de norme sur la qualité de l'air ambiant en Nouvelle-Calédonie. Le 11 janvier 2017, le Congrès de la Nouvelle-Calédonie a voté à l'unanimité une délibération relative à l'amélioration de la qualité de l'air ambiant visant à limiter les émissions de polluants. La nouvelle loi veut assurer, dans le respect des compétences des communes et des provinces, la surveillance de la qualité de l'air ambiant et prévoit, par des arrêtés gouvernementaux, des précisions par rapport: aux paramètres de santé publique qui feront l'objet d'une surveillance; aux substances surveillées et normes de qualité de l'air; aux modalités de surveillance; aux modalités de calcul des indices de qualité de l'air; aux procédures d'alerte.

La loi souligne que les normes de qualité de l'air qui seront éventuellement adoptées doivent respecter « a minima, celles fixées par l'Union européenne et, le cas échéant, par l'OMS ». Des zones de surveillance ont été définies. Pour chacune d'entre elles, des associations agréées ont la responsabilité de la mise en œuvre du dispositif de surveillance, comme en droit français.

Les usines de nickel sont soumises à une réglementation d'installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) par les Codes de l'environnement des trois provinces. Ces installations sont soumises à des normes sur la qualité de l'air qui ne comprennent pas le nickel. Ainsi, tel qu'en fait foi l'arrêté modifié 11387-2009/ARR/DIMENC relatif à l'exploitation du site industriel de Doniambo (SLN) et l'Arrêté n° 1467-2008/PS du 9 octobre 2008 autorisant la société Goro Nickel SAS (devenue Vale NC en 2012) à exploiter une usine de traitement de minerai de nickel et de cobalt à "Baie Nord" - commune du Mont-Dore, d'une usine de préparation du minerai et d'un centre de maintenance de la mine à "Kwe Nord" - commune de Yaté, le gouvernement a établi des prescriptions quant à un objectif de qualité, un seuil de recommandation et d'information, un seuil d'alerte et des valeurs limites pour la protection de la santé humaine pour le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre et les PM_{10}.

Une étude d'impact récente (2017) déposée par Vale Nouvelle-Calédonie en vue d'autoriser l'augmentation de la capacité d'une aire de stockage de résidus miniers en les asséchant au préalable nous permet de constater que les études de modélisation de la dispersion ont été réalisées pour les particules fines, mais pas pour le nickel dans les PM_{10}. L'étude d'impact mentionne que les valeurs cibles annuelles de nickel dans les PM_{10} applicables en Europe ont été dépassées à quelques stations, mais sans plus d'informations. À noter que les métaux lourds (Ni, As, Cd, Pb) sont suivis à 8 stations de mesure de la qualité de l'air dans le pays et que les résultats sont comparés aux valeurs cibles de la Commission européenne. La section 4.3 présente les résultats obtenus au cours des dernières années.

3.11 Récapitulation de la revue des normes d'air ambiant

Le tableau 10 récapitule les normes, critères et valeurs cibles relatives au nickel dans l'air ambiant en vigueur dans les autres juridictions. On observe que le Québec est le seul, avec l'Ontario à avoir une norme (ou un critère pour l'Ontario) sur une base de 24 h. La valeur journalière retenue par le Québec de 0,014 µg/m^3 dans les PM_{10} (ou 14 ng/m^3) est plus sévère que le critère de qualité de l'air annuel de l'Ontario et la valeur cible annuelle en Europe (tous deux de 20 ng/m^3), tous deux déjà moins contraignants qu'une norme. Par ailleurs, la norme du

Québec est égale à la valeur toxique de référence annuelle retenue par la Californie pour les effets non cancérigènes.

Au Michigan, le VTR annuel initial (IRSL) de 0,0058 µg/m^3 est applicable dans le cadre de l'obtention de permis d'une seule source d'émission. Une installation qui ne se conformerait pas à ce critère peut se prévaloir du respect du VTR annuel secondaire (SRSL) de 0,058 µg/m^3 applicable à l'ensemble de ses sources d'émission. Au Québec, l'évaluation des concentrations ambiantes de contaminant s'appliquant de facto à l'ensemble des sources d'une installation, la norme journalière du Québec est donc beaucoup plus sévère que le niveau SRSL du Michigan.

En Australie, il n'y a pas de normes d'air ambiant que ce soit au niveau national ou dans les divers États. Toutefois, un critère annuel de 3 ng/m^3 basé sur la ligne directrice de l'OMS (2,5 ng/m^3) établi pour les effets cancérigènes avec une probabilité d'un cancer additionnel par million d'individus, a été retenu au cas par cas, et dans un passé récent pour l'évaluation des risques à la santé de deux nouvelles installations de nickel, l'une dans l'état de WA et l'autre à Gladstone (Queensland). Le département de la Santé de l'état du WA a évoqué en 2015 pour l'étude d'impact de la nouvelle mine de nickel de Wingellina que ce critère avait été initialement retenu dans le cas de Port Esperance en 2009 lorsqu'un suivi de la qualité de l'air avait été établi suite à l'empoisonnement de milliers d'oiseaux (voir section 4.4.1 pour plus de détails). Toutefois, les autorités portuaires l'ont jugé impossible à respecter dès 2011.

Le présent chapitre permet ainsi de conclure que la norme d'air ambiant québécoise pour le nickel est présentement la norme la plus sévère des pays industrialisés occidentaux. La norme québécoise est également plus sévère que les critères d'air ambiant établis par les autres juridictions. La Norvège a récemment (février 2018) adopté un critère d'air ambiant annuel de 10 ng/m^3 dans les PM_{10}. Il s'agit du critère se rapprochant le plus de la norme journalière du Québec. Toutefois, ce critère est jugé moins strict que la norme québécoise car des mesures à une station de mesure du nickel dans l'air ambiant pourraient parfois dépasser une norme journalière de 14 ng/m^3, sans toutefois excéder sur une base annuelle un critère d'air ambiant de 10 ng/m^3. De plus, le critère de la Norvège n'est pas contraignant au plan légal, comparativement aux normes d'air ambiant du Québec.

Tableau 10 Tableau récapitulatif des normes et critères de nickel dans l'air ambiant des pays industrialisés occidentaux

Juridiction	Date de mise en vigueur	Contaminant	Annuel µg/m^3	24 h µg/m^3	8h µg/m^3	1h µg/m^3
Ontario – Norme d'air ambiant (AAQS)	01 / 07 / 2016	Ni (PST)	0,04	NA	NA	NA
Ontario – Critère d'air ambiant (AAQC)	22 / 07 / 2011	Ni (PM_{10})	0,02	0,1	NA	NA
	22 / 07 / 2011	Ni (PST)	NA	0,2	NA	NA
Quebec – Norme d'air ambiant du RAA	2016	Ni (PM_{10})	NA	0,014	NA	NA
Alberta – Objectif de qualité de l'air (AAQO)	2005	Ni (PST)	0,05	NA	NA	6
Manitoba – Critère d'air ambiant	2005	Ni (PST)	NA	2	NA	NA
Terre-Neuve – Norme d'air ambiant (AAQS)	2004	Ni (PST)	NA	2	NA	NA
Californie – Valeurs toxiques de référence (VTR)	2012	Ni (PM_{10})	0,014	NA	0,06	0,2
Michigan – Valeurs toxiques de référence (VTR)	08 / 2017	Ni (PM_{10})	SRSL 0,058 IRSL 0,0058	NA	NA	NA
Michigan – Valeurs toxiques de référence (VTR)	05 / 1991	NiS_3 (PM_{10})	SRSL 0,021 IRSL 0,0021	NA	NA	NA
Texas – Niveaux ESL	2011	Ni (PM_{10})	0,059	NA	NA	0,33
Commission Européenne – Valeur cible	31 / 12 / 2012	Ni (PM_{10})	0,02	NA	NA	NA
Norvège – Critère d'air ambiant	13 / 02 / 2018	Ni (PM_{10})	0,010	NA	NA	NA
Western Australia – Critère d'évaluation EIE	2015	Ni (PM_{10})	0,003	NA	NA	NA
Queensland – Critère d'évaluation EIE	2008	Ni (PST)	0,0025	NA	NA	NA
New South Wales – Critère d'évaluation EIE	2001	Ni (PST)	NA	NA	NA	0,18
Inde – Norme d'air ambiant (AAQS)	08 / 2015	Ni (PM_{10})	0,02	NA	NA	NA

Californie : VTR: Reference Exposure Limits (REL)

Michigan : VTR 1 an: Secondary Risk Screening Level – SRSL - 1 cas de cancer additionnel par 100 000 individus

Initial Risk Screening Level – IRSL - 1 cas de cancer additionnel par million d'individus

3.12 Normes d'émission à l'atmosphère

Très peu de juridictions règlementent les émissions de nickel à l'atmosphère. Celles-ci sont généralement réglementées par l'entremise des normes d'émissions de particules. Quelques mines de nickel sont soumises à des limites d'émission pour des sources fixes dans leurs permis d'exploitation.

Le 13 juin 2016, la Commission européenne (2016) a rendu la décision 2016/1032 concernant l'établissement des MTD pour les industries des métaux non ferreux dont le nickel fait partie. Cette directive concerne la production primaire et secondaire de métaux non ferreux. La Commission européenne a institué des niveaux d'émission de nickel associés aux meilleures techniques disponibles (NEA-MTD) pour certaines sources de l'industrie du nickel.

Les NEA-MTD pour les émissions dans l'air se réfèrent aux conditions standard (normales): gaz sec à une température de 273,15 K et à une pression de 101,3 kPa. Aux fins de l'établissement de valeurs moyennes d'émission dans l'air, les définitions suivantes s'appliquent.

Moyenne journalière	Moyenne sur une période de 24 heures des moyennes semi-horaires ou horaires valables obtenues par mesures en continu
Moyenne sur la période d'échantillonnage	Valeur moyenne de trois mesures consécutives d'au moins 30 minutes chacune, sauf indication contraire

Pour la **transformation de minerais sulfurés**, la MTD implique d'utiliser un filtre à manches, ou un électrofiltre associé à un filtre à manches, afin de réduire les émissions atmosphériques de poussières et de métaux résultant de la manutention et du stockage des matières premières, des procédés de prétraitement des matières (notamment préparation des minerais et séchage des minerais/concentrés), du chargement du four, de la fusion, de la conversion, de l'affinage thermique et de la production de poudre et de briquettes de nickel. La NEA-MTD s'applique aux émissions de poussières des cheminées, soit :

NEA-MTD poussières: 2–5 mg/Nm^3 en moyenne journalière ou sur la période d'échantillonnage

Pour les **procédés de lixiviation à la pression atmosphérique ou sous pression**, la MTD consiste à utiliser un épurateur par voie humide afin de réduire les émissions atmosphériques de nickel et de chlore. La NEA-MTD s'applique aux émissions de nickel et de chlore des cheminées, soit :

NEA-MTD Nickel : ≤ 1 mg/Nm^3 en moyenne sur la période d'échantillonnage

NEA-MTD Chlore : ≤ 1 mg/Nm^3 en moyenne sur la période d'échantillonnage

Pour **l'affinage de la matte de nickel par un procédé au chlorure ferrique en présence de chlore**, la MTD consiste à utiliser un filtre à manches afin de réduire les émissions atmosphériques de nickel. La NEA-MTD s'applique aux émissions de nickel des cheminées, soit :

NEA-MTD Nickel : ≤ 1 mg/Nm^3 en moyenne sur la période d'échantillonnage

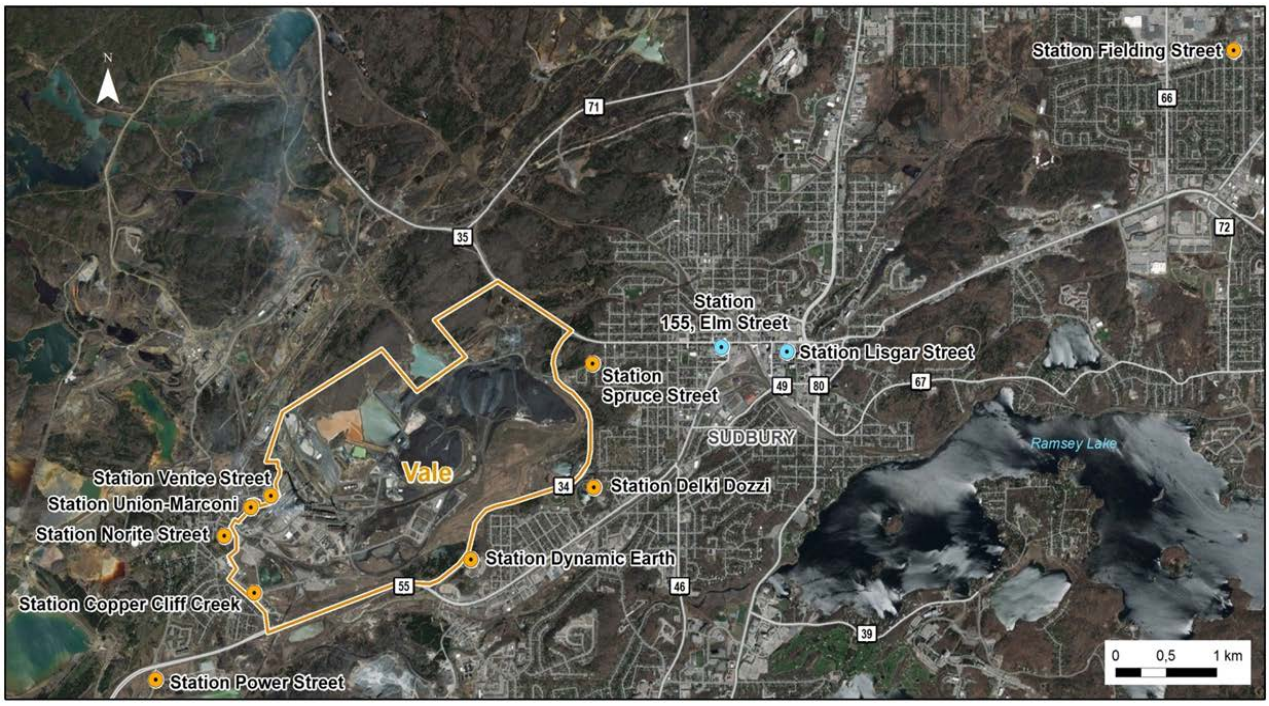
4 Études de cas

Les études de cas sont intéressantes pour plusieurs raisons. En effet, on peut y tirer l'expérience acquise des juridictions dans lesquelles est établie l'industrie du nickel, tant au niveau des concentrations mesurées dans l'air ambiant, que des mesures prises pour réduire ces concentrations dans l'air ambiant. Cette revue couvre sept études de cas concernant des installations existantes de mine et/ou de raffinerie de nickel à Sudbury (Ontario), en Norvège, au Royaume-Uni et en Nouvelle-Calédonie, deux projets d'exploitation du nickel et une installation portuaire existante en Australie, ainsi que la mine Eagle au Michigan.

4.1 3Sudbury, Ontario

L'historique de la concentration de nickel dans l'air ambiant de Sudbury est intéressant à considérer, du fait que les deux plus importantes installations de production du nickel au Canada y sont exploitées depuis les années 1970. Les deux entreprises (Vale et Glencore) ont procédé à des investissements massifs depuis que l'Ontario a resserré ses normes d'air ambiant en 2012 pour le SO_2 et le nickel. La revue de l'historique de la qualité de l'air ambiant, quant au nickel, se concentre sur les données de Vale, tous les rapports trimestriels d'air ambiant étant disponibles sur leur site web depuis 2011. Vale exploite neuf stations de PST dans l'air ambiant (Figure 8), incluant cinq pour lesquelles les PM_{10} sont également mesurées.

Figure 8 Localisation des stations d'air ambiant de Vale, Sudbury



Quatorze substances, dont le nickel, sont analysées dans les PM_{10} et les PST échantillonnés sur des périodes de 24 h (de 0h00 à 24h00) respectivement aux 6 jours et aux 3 jours. Les stations avec des mesures de PM_{10} sont toutes situées en bordure sud et sud-est, dont deux à l'intérieur, de la limite de propriété de Vale (Copper Cliff Creek et Union Marconi).

L'exploitation des stations de mesures de la qualité de l'air est confiée à un consultant et le MOECC effectue régulièrement des audits pour vérifier le bon fonctionnement des stations. La limite de détection (LD) du nickel est de 0,001 µg/m^3 dans les PST comme dans les PM_{10} et aucune valeur n'a été reportée sous cette limite au fil des ans.

Une étude récente (Clean Air Sudbury, 2016) sur la qualité de l'air ambiant à Sudbury a été menée par Clean Air Sudbury, un organisme communautaire à but non lucratif. Cette étude fait état des données d'air ambiant disponibles sur plusieurs paramètres, dont le nickel, pour la période s'étalant de 2008 à 2014. Ces données étaient antérieures au remplacement des dépoussiéreurs et du précipitateur électrostatique par des filtres à sacs modernes à haute efficacité à la raffinerie de nickel de Copper Cliff (Vale) complété en 2016. Vale a depuis investi 75 millions de dollars afin de mettre en œuvre un plan d'action pour réduire ses émissions de nickel à l'atmosphère en 2016.

L'analyse de Clean Air Sudbury, effectuée sur la période 2009 à 2014, a été complétée par une revue des données sur 24 h de nickel dans les PM_{10} recueillies de 2015 à 2017 obtenues à partir des rapports trimestriels de qualité de l'air de Vale (Tableau 11).

Tableau 11 Concentrations moyennes annuelles de nickel dans les PM_{10} (µg/m^3) Stations de mesures de Vale, Sudbury

Année	Union	Venice	Norite	Copper Cliff Creek	Dynamic Earth
2017	0,040	0,083	0,027	0,039	0,065
2016	0,041	0,047	0,029	0,044	0,040
2015	0,040	0,053	0,034	0,057	0,056
2014	0,049	0,098	0,028	0,035	0,082
2013	0,033	0,053	0,024	0,046	0,064
2012	0,036	0,069	0,031	0,051	0,042
2011		0,140	0,053	0,068	0,054
2010		0,140	0,030		0,060
2009		0,120	0,030		0,020
Moy 2012-2017	0,040	0,065	0,029	0,045	0,058

La station Venice est celle la plus proche en distance (250 m) de la super cheminée de la raffinerie, à 50 m des limites de propriété de l'usine. Le plan d'action de Vale pour réduire ses émissions de nickel semble avoir porté fruit en partie, malgré aucune baisse significative des émissions de nickel déclarées depuis 2011 (Tableau 12). On peut ainsi observer que les concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} de la station Venice ont baissé de moitié en moyenne entre 2012 et 2017 par rapport aux années 2009 à 2011, bien que les années 2009 et 2010 aient été marquées par une fermeture et une opération partielle. On distingue aussi une légère tendance à la baisse pour la station Copper Cliff Creek, les trois moyennes annuelles les plus basses ayant été observées au cours des quatre dernières années. Par contre, on ne constate pas réellement de tendance à la baisse des concentrations aux trois autres stations.

Le critère pour le nickel dans les PM_{10} de 0,02 µg/m^3 n'est respecté à aucune des cinq stations. Ceci dit, les normes et critères de qualité de l'air ontariens de nickel dans les PM_{10} ou les PST ne sont pas applicables pour les stations de Vale situées en périphérie de leur propriété. La norme annuelle spécifique au site de 1 µg/m^3 dans les PST s'y applique ; celle-ci a été

promulguée pour une période de 10 ans (1er juillet 2011 au 30 juin 2021; voir section 3.3.3). La norme annuelle spécifique à Vale n'est pas dépassée aux diverses stations d'échantillonnage depuis 2012.

Tableau 12 Émissions de nickel (t/an) à l'atmosphère de Vale, Sudbury (1993-2016)

Année	Fonderie	Raffinerie	Concentrateur Clarabelle	Total Mines	TOTAL VALE
2016	36	39	0,31	1,75	77
2015	16	50	0,31	1,80	68
2014	32	42	0,40	1,53	76
2013	20	29	0,40	1,47	51
2012	19	66	0,37	1,37	87
2011	19	48	0,45	1,61	69
2010	20	5	0,45	1,16	27
2009	14	4,5	0,30	0,83	20
2008	37	10	0,50	1,54	49
2007	31	9,6	0,67	1,87	43
2006	41	8	0,42	1,48	51
2005	50	8	1,1		59
2004	121	16	1,1		138
2003	51	12	0,86		64
2002	86	15	1,2		102
2001	64	12	1,2		77
2000	78	163	1,2		242
1999	84	122			206
1998	68	130			198
1997	144	94			238
1996	122	99			221
1995	418	92			510
1994	333	80			413
1993	238	96	0		334

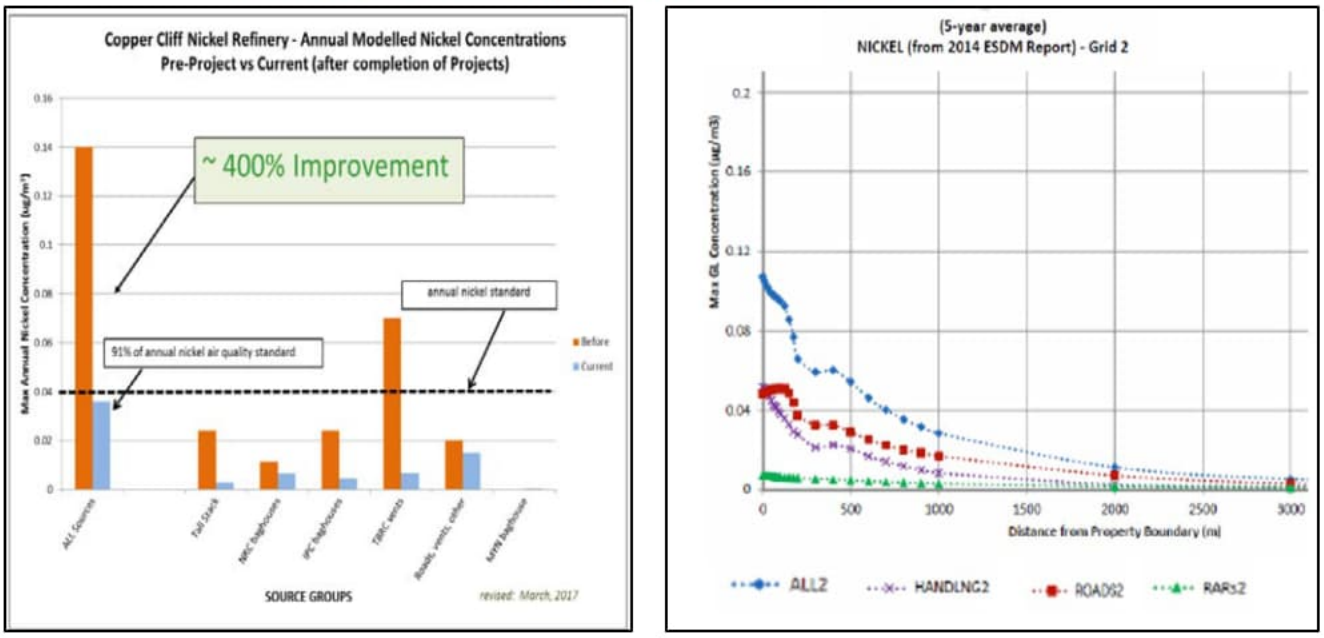
Émissions de nickel (t/an) des mines

Année	Mine Nord	Mine Sud	Stobie Frood	Garson	Levack	Creighton	Trotten
2016	0,20	0,03	0,32	0,27	0,44	0,32	0,17
2015	0,24	0,03	0,35	0,24	0,45	0,32	0,17
2014	0,22	0,04	0,30	0,22	0,32	0,32	0,11
2013	0,22	0,04	0,30	0,22	0,27	0,32	0,10
2012	0,21	0,02	0,35	0,22	0,23	0,31	0,03
2011	0,22	0,02	0,39	0,25	0,30	0,37	0,06
2010	0,14	0,04	0,23	0,15	0,35	0,19	0,06
2009	0,14	0,05	0,22	0,09	0,19	0,14	
2008	0,32	0,21	0,40	0,21	0,20	0,20	
2007	0,34	0,20	0,63	0,26	0,20	0,24	
2006	0,29	0,17	0,36	0,15	0,28	0,23	

La norme annuelle pour le nickel dans les PST de 0,04 µg/m^3 est toutefois applicable aux stations des rues Power et Fielding (nouvelle station installée en juillet 2017). Celle-ci a été dépassée à la station de la rue Powell (0,073 µg/m^3) en 2017.

Vale a l'intention de poursuivre l'exploitation du complexe pour de nombreuses années, tel qu'en fait foi le projet de réduction de 85% de ses émissions de SO_2 à l'atmosphère, qui s'achève en 2018 au coût d'un milliard de dollars. Tel que mentionné plus haut, Vale a complété en 2016 un projet de réduction de ces émissions au coût de $75 millions pour que ses installations se conforment aux nouvelles normes SSS de nickel dans les PST entrées en vigueur en juillet 2016 pour ses installations. Vale a également mis en œuvre un plan d'action de réduction des émissions de nickel développé en 15 points qui se poursuit (Vale, 29 mars 2018). Vale estime que les améliorations apportées aux installations incluant de nouveaux équipements devraient permettre de réduire de 90% les émissions de nickel et d'autres métaux dans les particules. Le projet a inclus l'installation de quelques-unes des technologies les plus avancées en matière environnementale y compris des améliorations au niveau des filtres à manches avec points d'émissions et la mise en œuvre de nouveaux systèmes de ventilation qui fournissent un milieu de travail plus sain et plus propre aux travailleurs à l'intérieur de l'usine. Une étude de modélisation de la dispersion atmosphérique a prédit une réduction de l'ordre de 400% de la concentration de nickel en milieu ambiant comparativement à la situation avant-projet, avec atteinte de la norme à 700 m des limites de propriété (Figure 9).

Figure 9 **Contribution des sources d'émission aux concentrations annuelles modélisées de Ni dans les PST avant et après projet – Raffinerie de Vale**



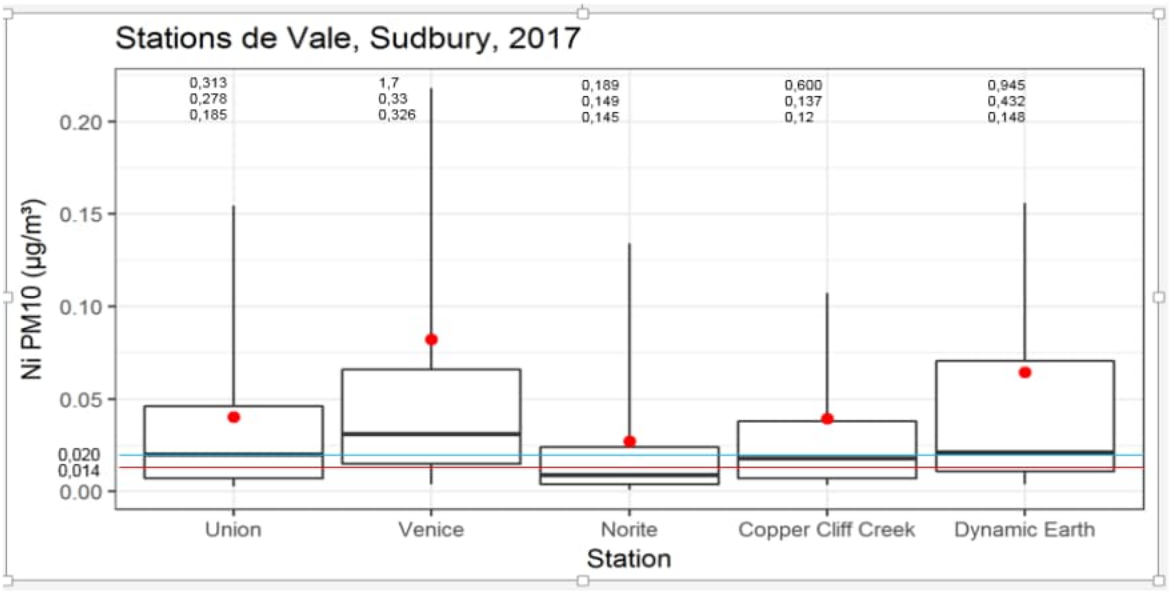
Source: Vale March 28, 2017. 2016 Environment Management System & Community Engagement Report. 19 p.

Malgré la mise en œuvre de ce programme, on observe qu'en 2017 le critère ontarien d'air ambiant sur 24 h (0,1 µg/m^3 de nickel dans les PM_{10}) a été dépassé de 6 à 14% du total des mesures valides (Tableau 13). La proportion des données qui aurait dépassé la norme québécoise de 0,014 µg/m^3 de nickel dans les PM_{10} varie entre 40 et 60% selon la station. On observe aussi que les concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} dépassent le critère annuel ontarien de 0,02 µg/m^3 aux cinq stations. Malgré les investissements réalisés, le programme de Vale ne pourrait pas permettre ni le respect des critères de qualité de l'air de nickel dans les PM_{10} de l'Ontario, et encore moins la norme québécoise (Figure 10), ce qui a justifié la passation vers une norme sectorielle.

Tableau 13 Statistiques des concentrations sur 24 h de nickel mesurées dans les PM_{10} en 2017 (µg/m³) - Stations d'air ambiant de Vale, Sudbury

Paramètres	Union	Venice	Norite	Copper Cliff Creek	Dynamic Earth
Nombre de données	58	57	59	53	58
% données valides	96,7%	95,0%	98,3%	88,3%	96,7%
Minimum	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
Moyenne	0,040	0,082	0,027	0,039	0,065
Maximum	0,313	1,700	0,189	0,600	0,945
Centile 50%	0,020	0,031	0,009	0,018	0,021
Centile 75%	0,046	0,066	0,024	0,038	0,071
Centile 90%	0,098	0,114	0,086	0,073	0,120
Centile 95%	0,154	0,218	0,134	0,107	0,156
Centile 98%	0,265	0,330	0,148	0,136	0,400
% > Québec 0,014 µg/m³	55%	53%	39%	60%	60%
% > Ont. AAQC 0,1 µg/m³	9%	11%	8%	6%	14%

Figure 10 Statistiques de nickel dans les PM_{10} (2017) - Stations d'air ambiant de Vale

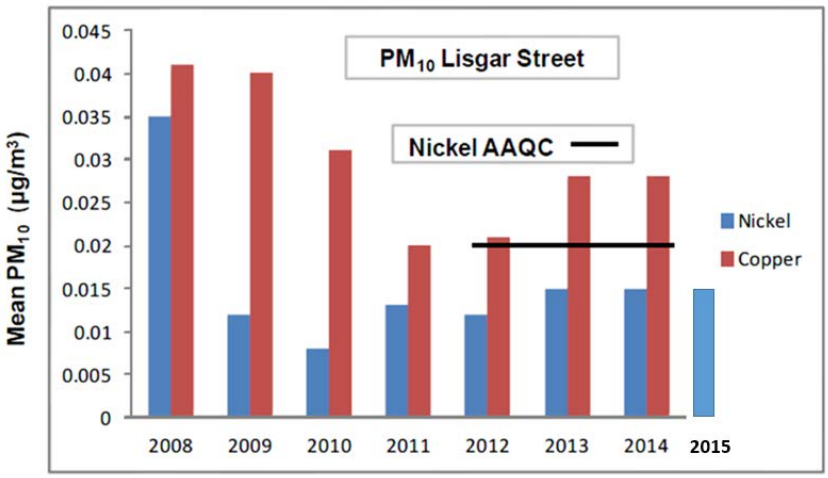


Depuis juillet 2017, Vale exploite une station de qualité de l'air sur la rue Fielding (Figure 8), à plus de 9 km au nord-est du complexe minier de Vale, mais à 4 km à l'est de la mine Stobie-Frood, une autre mine souterraine majeure ayant fermé le 31 mai 2017. Les concentrations moyennes et maximales journalières de nickel dans les PST mesurées étaient de 0,023 et 0,076 µg/m³ pour les six derniers mois de 2017. En moyenne pendant l'année 2017, le ratio Ni-PM_{10}/Ni-PST était de 60% dans l'ensemble des stations où les deux types de mesures étaient disponibles. Si on applique ce ratio aux résultats de la station d'air ambiant la plus éloignée du complexe de nickel, on obtient une moyenne et un maximum de 0,014 et 0,046 µg/m³ respectivement.

Le MOECC exploite une station de la qualité de l'air ambiant dans le centre-ville de Sudbury, sur la rue Lisgar, à environ 2 km à l'est de la limite de propriété de Vale (voir localisation à la Figure 8). Le critère de qualité de l'air AAQC sur 24 h de nickel dans les PM_{10} (0,1 µg/m^3) n'y a pas été dépassé depuis 2012 (valeur maximale sur 24 h de 0,09 µg/m^3 depuis ce temps). Il s'agit d'une nette amélioration par rapport à 2011 où la valeur maximale sur 24 h avait atteint 0,26 µg/m^3. La figure 11 montre également que le critère annuel de 0,02 µg/m^3 dans les PM_{10} y est respecté depuis 2008, la dernière fois où la valeur moyenne annuelle mesurée de 0,035 µg/m^3 avait dépassé le critère. On peut également observer que les niveaux annuels depuis 2013 s'approchent de la norme d'air ambiant du Québec de 0,014 µg/m^3 (sur 24 h).

Des données supplémentaires de la station Lisgar pour l'année 2015 et les sept premiers mois de 2016 nous ont été fournies par le MOECC le 11 avril 2018. Les concentrations moyenne et maximale de nickel dans les PM_{10} observée en 2015 étaient de 0,015 et 0,062 µg/m^3 alors que les concentrations journalières dépassaient 28% du temps le critère annuel de 0,02 µg/m^3. Durant les 7 premiers mois de 2016, la moyenne avait baissé à 0,012 µg/m^3, mais le maximum journalier était resté à 0,06 µg/m^3. Les efforts de Vale pourraient éventuellement se faire sentir à des distances plus grandes qu'aux abords des limites de propriété de l'entreprise.

Figure 11 Concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} Station MOECC, rue Lisgar, Sudbury



Sources : Clean Air Sudbury, 2016 pour les données 2008-2014 et MOECC (2018) pour 2015.

Malgré les concentrations a priori élevées de nickel dans l'air ambiant, les figures 12 et 13 montrent que sur 21 villes sélectionnées sur un total de 39 stations de mesures des $PM_{2.5}$ en Ontario, Sudbury (155 rue Elm localisée à la Figure 8) est l'une de celles présentant les basses concentrations de particules fines $PM_{2.5}$ en regard des normes canadiennes (CAAQS) sur les moyennes et 98 centiles de trois années consécutives (MOECC, 2018).

Figure 12 Concentrations de $PM_{2.5}$ sur 24 h (98e centile de 3 ans consécutifs) - 2016

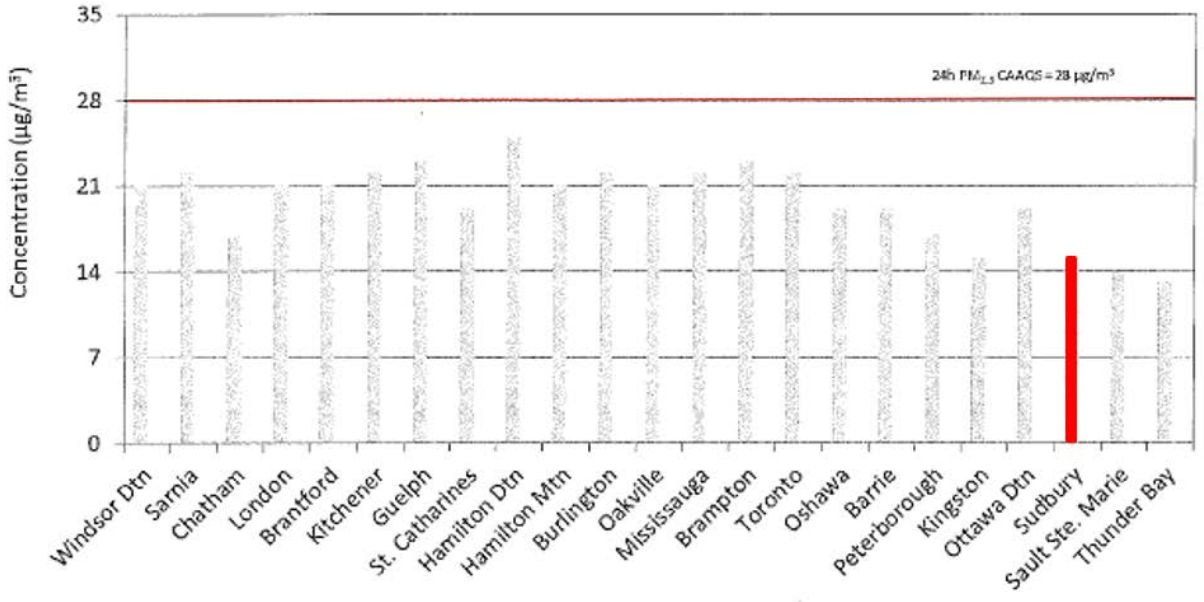
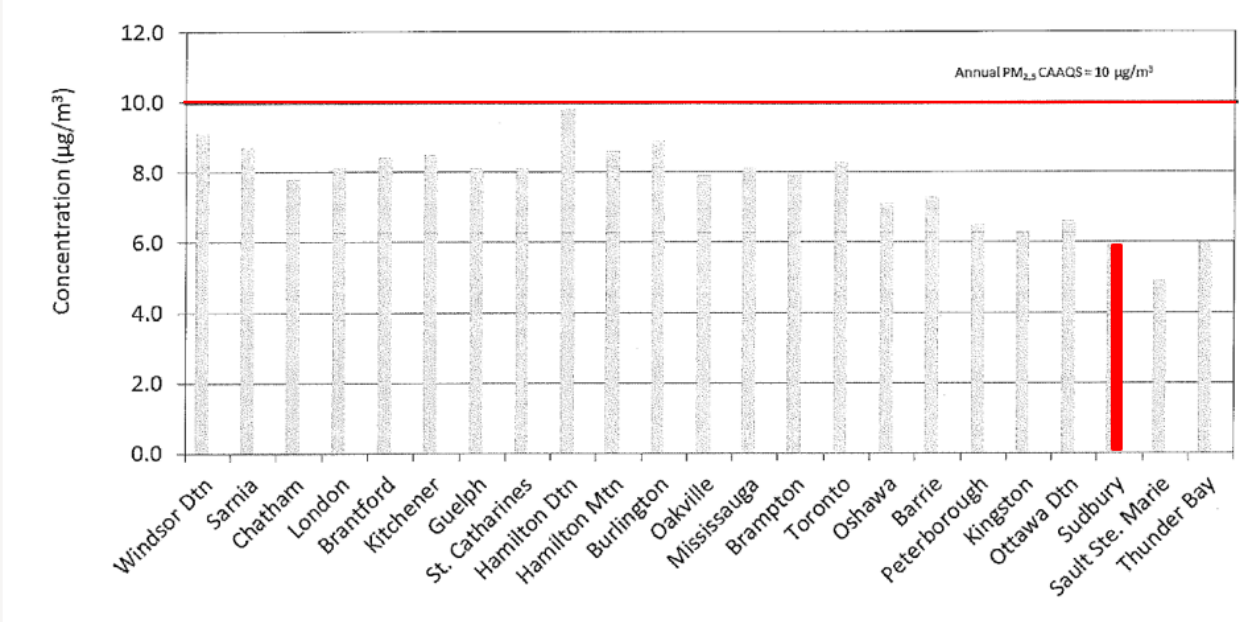


Figure 13 Concentrations de $PM_{2.5}$ - moyennes annuelles (3 ans consécutifs) - 2016



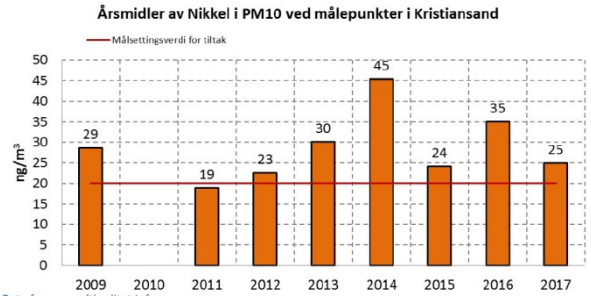
Source : MOECC (updated 20 Avril 2018), Air Quality in Ontario. 2016 Report.

4.2 Europe

4.2.1 Nikkelverk, Norvège

Les particularités de la Norvège revêtent un grand intérêt pour la présente étude pour les raisons suivantes :

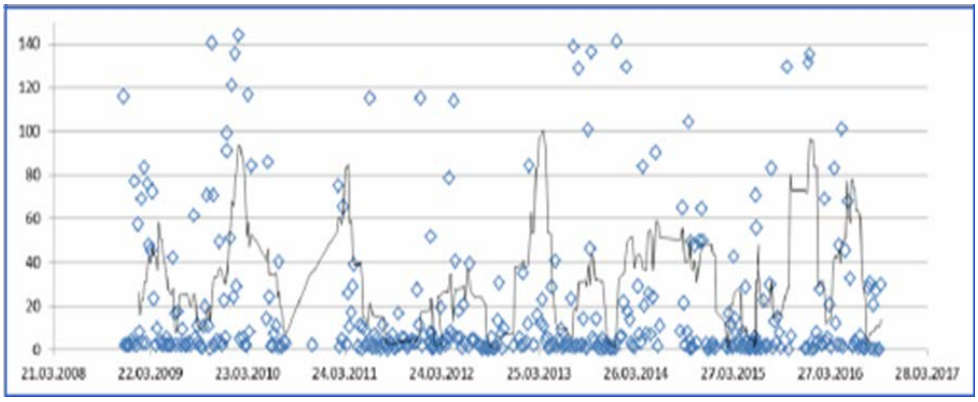
- la raffinerie de Nikkelverk (Glencore) y produit 92 000 t/an de nickel, 39 000 tonnes d'anodes de cuivre et 5 200 tonnes de cobalt;
- cette raffinerie est l'une des deux usines à partir desquelles la revue des meilleures technologies disponibles a été faite par la Commission européenne (2017);
- la valeur cible annuelle de la Commission européenne (20 ng/m^3 dans les PM_{10}) a été dépassée à tous les ans depuis 2009, sauf 2011 (NILU, novembre 2018);
- l'OMS a dérivé sa ligne directrice sur les effets cancérigènes des données d'exposition des travailleurs de cette raffinerie.
- L'agence de l'Environnement de la Norvège et l'Institut Norvégien de la Santé publique ont publié des critères annuels de qualité de l'air pour divers métaux, dont un critère de 10 ng/m^3 dans les PM_{10} pour le nickel.



Glencore exploite cette raffinerie, active depuis 1910, près de la municipalité de Kristiansand, une ville d'environ 90 000 personnes. Une station de mesure du nickel dans les PM_{10}, située dans le quartier résidentiel le plus proche sous les vents dominants à environ 300 m des installations de la raffinerie, est en exploitation depuis fin 2008.

Les concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} ont dépassé la valeur cible de 20 ng/m^3 un total de 7 années sur 8, entre 2009 et 2016. Ainsi, en vertu de la Directive 2004/1032 de la Commission européenne, la valeur cible annuelle n'a pas été respectée car elle a été dépassée pendant au moins trois années calendaires au cours d'une période de cinq ans. L'analyse des concentrations journalières (prélèvements aux six jours) montre que les mesures ont dépassé le seuil de 20 ng/m^3 à 17 reprises au cours de l'année 2016 (Figure 14).

Figure 14 Concentrations journalières de nickel dans les PM_{10} – Station Nikkelverk



Source des figures de cette page: Glencore, Nikkelverk, 24.02.2017 Investigations des émissions atmosphériques de nickel

La direction de l'environnement norvégienne a confirmé qu'elle appliquait les principes établis par l'Union européenne. Si la valeur cible annuelle de 20 ng/m^3 est dépassée, la municipalité locale est responsable de l'établissement d'un plan d'action visant le retour au respect de la

valeur cible. En fait, c'est l'industrie visée qui prépare le plan d'action, et la municipalité qui l'entérine par la suite. L'industrie doit adopter les meilleures technologies disponibles (MTD) en vertu de la réglementation norvégienne, mais peut se voir imposer, si elle est responsable du dépassement, la mise en œuvre de mesures additionnelles au-delà des MTD, dans la mesure où les coûts ne sont pas démesurés. Le plan d'action doit être soumis à l'agence dans un délai maximal de deux ans après le déclenchement du processus de constat du dépassement des valeurs cibles.

En conformité avec la règlementation norvégienne, la municipalité de Kristiansand a donc soumis en février 2017 une lettre à la direction de l'environnement se montrant en accord avec le rapport d'évaluation de la situation préparé par Glencore en vue de ramener les concentrations en dessous de la valeur cible. Le rapport d'évaluation de Glencore contenait les éléments exigés par la Commission européenne en cas de dépassement avéré de la valeur cible, soit :

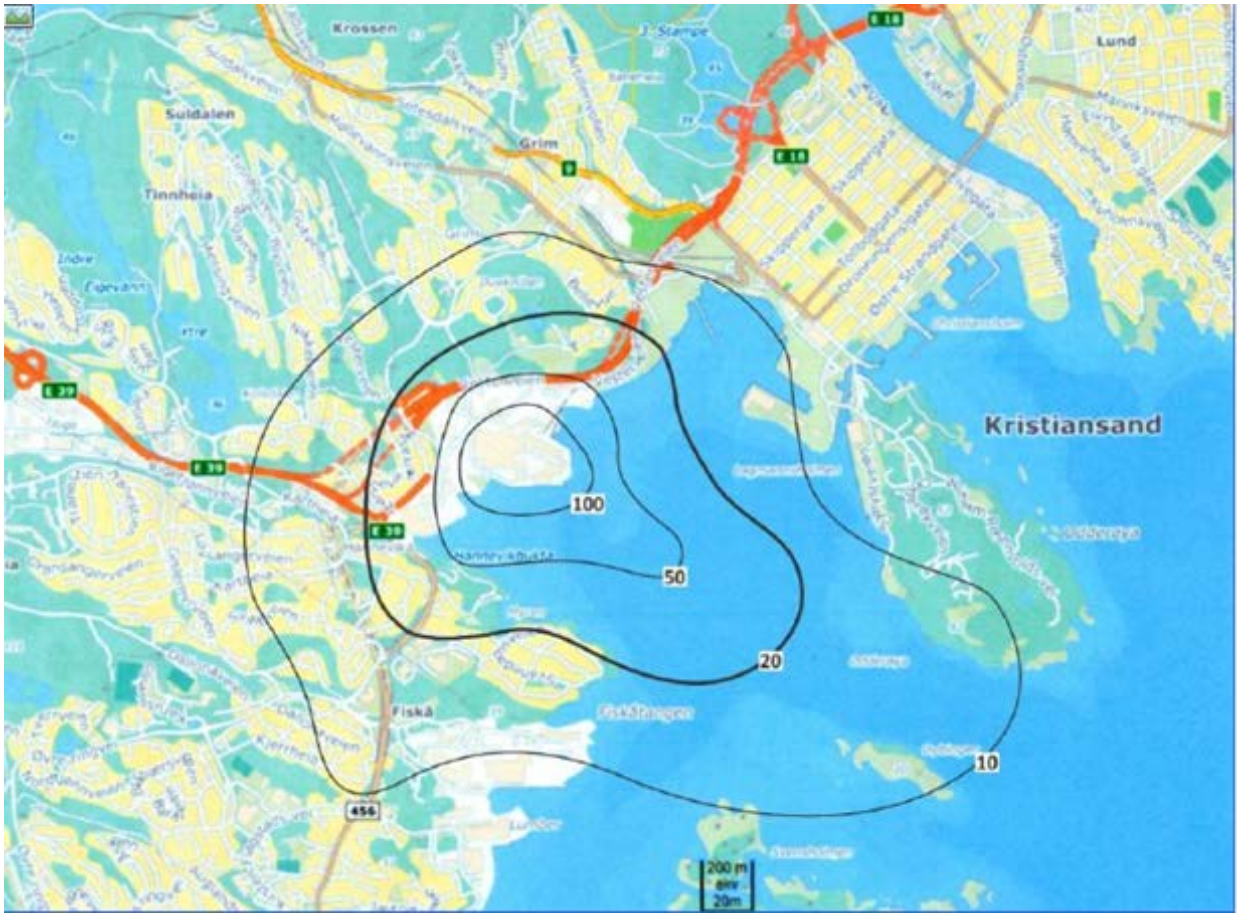
- Une évaluation des secteurs touchés par les dépassements, faite à partir des résultats d'une modélisation de la dispersion atmosphérique;
- Les concentrations évaluées ou mesurées;
- Les causes du dépassement, et en particulier les sources qui y ont contribué;
- La population exposée à ces dépassements;
- Les mesures nécessaires n'entraînant pas de coûts disproportionnés, c'est-à-dire l'application des MTD visant en particulier les sources d'émission prédominantes de façon à atteindre la valeur cible.

Dans un premier temps, l'Institut norvégien de recherche atmosphérique (NILU) a réalisé, au nom de Glencore Nikkelverk AS, une étude de modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions de nickel. Les modélisations étaient basées sur cinq ans de données météorologiques traitées par NILU et sur les émissions de nickel fournies par Glencore qui ont été calculées à partir d'analyses de concentrations de nickel dans la poussière, ainsi que de mesures et d'estimations réalisées pour les divers points d'émission. Neuf sources d'émission fixes en plus des émissions diffuses provenant de neuf parties différentes de l'entreprise ont été modélisées.

Les résultats de modélisation de la dispersion ont été comparés aux concentrations mesurées à la station de l'entreprise pour les métaux dans l'air ambiant, située à 300 m du complexe, sous les vents dominants du nord-ouest. La concentration moyenne de nickel mesurée à la station entre 2009 et 2015 s'est établie à 32,8 ng/m^3 alors que le modèle prédit une concentration moyenne annuelle de 34,9 ng/m^3 aux points de calcul limitrophes à la station de mesure. Cela démontre que le modèle reproduit de près le niveau de concentration mesuré. Les courbes d'isoconcentration par rapport aux moyennes annuelles de nickel sont illustrées à la figure 15. La valeur cible de 20 ng/m^3 est indiquée avec une courbe plus foncée.

Selon les données de population disponibles à Kristiansand, il est estimé que 460 personnes résident dans la zone qui serait exposée à une concentration annuelle supérieure à la valeur cible de nickel de 20 ng/m^3. La plupart de ces gens vivent au sud-sud-ouest du complexe. L'ensemble des trois sources d'émissions diffuses les plus importantes du complexe (usines de nickel, de cuivre et de KL) contribue entre 65% et 70% des émissions totales de la raffinerie Nikkelverk AS.

Figure 15 Concentrations moyennes annuelles modélisées de nickel dans l'air ambiant autour de la raffinerie Nikkelverk (ng/m^3)



Source : Glencore Nikkelverk, 24.02.2017. Tiltaksutredning for utslipp av nikkel til luft (Investigations des émissions atmosphériques de nickel)

Le portrait global des émissions de nickel de la raffinerie Nikkelverk AS est très complexe compte tenu de la diversité des sources réelles et potentielles. L'entreprise estime donc qu'un programme de cartographie étendu et détaillé est crucial pour identifier les mesures d'atténuation efficaces qui réduiront les concentrations ambiantes de nickel. Toutefois, l'impact réel des mesures d'atténuation proposées restera difficile à prédire, et ne pourra être vérifié qu'après leur mise en place. L'entreprise a fait valoir que la plupart des mesures d'atténuation disponibles sont très coûteuses. Il faut rappeler que les MTD développées en 2016 par la Commission européenne étaient basées sur l'expérience de cette raffinerie.

Pour l'ensemble de ces raisons, l'entreprise propose une approche par étape, basée sur la connaissance acquise et documentée de mesures progressivement mises en place. Le plan d'action proposé est le suivant :

› En 2017: ajout d'un silo intermédiaire à un endroit où le matériel peut être jeté par terre ou déborder des camions (2 M$ USD)
› En 2017: mise en place d'un circuit de filtre presse complètement fermé à l'unité de production du cuivre (4,5 M$ USD) – l'ouverture manuelle des filtres presses pour fins de vidange et de nettoyage est une source importante d'émissions fugitives;

› Ajout de points de captage de poussières dans le hall du bâtiment de broyage pour les diriger aux dépoussiéreurs;
› Augmentation de la fréquence d'échantillonnage à la station de mesure, ce qui pourrait permettre de mieux isoler les sources d'émissions de nickel contribuant aux concentrations ambiantes élevées en nickel.
› Cette approche semble porter fruit, les concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} ayant baissé de 10 ng/m^3 de 2016 à 2017, de 35 à 25 ng/m^3.

L'agence de l'environnement norvégien comprend que l'estimation de l'efficacité des mesures de mitigation proposées est un défi et approuve l'approche par étapes proposée par l'entreprise. En ce sens, la mise à jour annuelle du plan d'action demandée par la ville a été jugée importante. L'agence demande que lui soit soumise d'ici le 31 mars 2020 une évaluation du besoin d'une révision complète de l'étude des mesures de mitigation.

4.2.2 Royaume-Uni

Le Royaume-Uni est divisé en 43 zones pour l'évaluation de la qualité de l'air. La valeur cible annuelle de la Communauté européenne (20 ng/m^3 de nickel dans les PM_{10}) a été dépassée à la station urbaine de Swansea et à la station urbaine de Sheffield au pays de Galles, ces stations étant toutes deux situées dans un secteur industriel. Le UK Department for Environment, Food & Rural Affairs (UK DEFRA, novembre 2017) a émis un rapport sur les mesures relatives aux dépassements de la valeur cible pour le nickel dans l'agglomération urbaine de Swansea. Ce rapport mentionne que, depuis sa mise en service en 2011, les concentrations moyennes annuelles de nickel ont dépassé la valeur cible à la station Pontardawe Tawe Terrace à chaque année, entre 2011 et 2016.

Le tableau 14 présente les concentrations moyennes annuelles de nickel mesurées dans les PM_{10} aux stations d'air ambiant de la zone urbaine de Swansea, tandis que la figure 16 localise les deux complexes industriels émetteurs de nickel (Vale et Wall Colmonoy) par rapport aux stations d'air ambiant ainsi que les zones de dépassement. Les stations d'air ambiant sont toutes situées dans l'axe des vents dominants par rapport à la raffinerie de Vale.

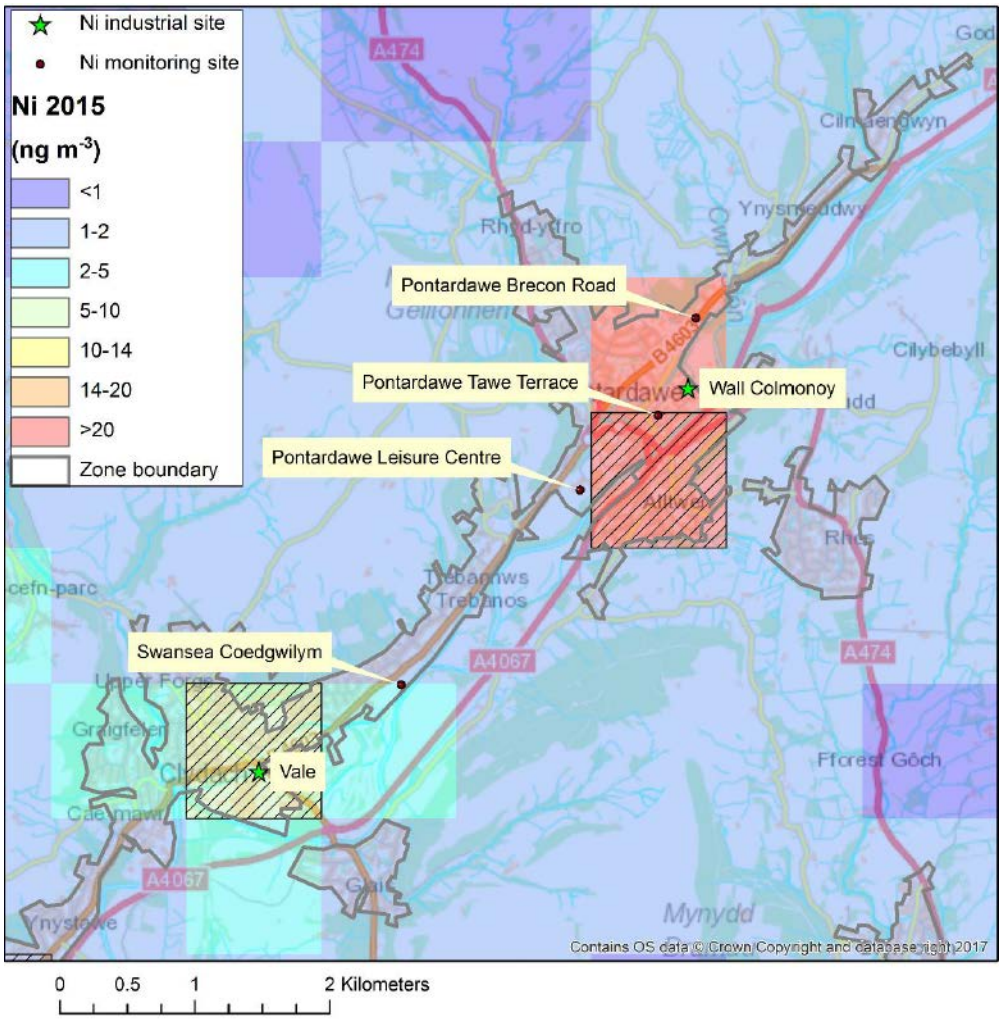
Tableau 14 Concentrations moyennes annuelles de nickel dans les PM_{10} – Zone urbaine de Swansea (UK)

Station	Concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} (ng/m^3)						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pontardawe Brecon Rd	6,5	6,6	5,7	8,1	9,2		
Pontardawe Tawe Terrace	28	30	37	43	28	46	18
Pontardawe Leisure Centre	15	14	12	22	15		
Swansea Coedgwilym	11	8,5	7,8	12	13	10	

Source : UK DEFRA (novembre 2017) et https://uk-air.defra.gov.uk/ pour les données de 2016 et 2017

Les zones de dépassement ont été déterminées par modélisation à l'échelle nationale avec une grille de résolution de 1 km x 1 km. Les sources de nickel de la région sont la raffinerie de nickel de Vale, qui produit entre 30 000 et 40 000 tonnes de nickel par année, et l'usine de production d'alliages Wall Colmonoy qui utilise entre 300 et 500 tonnes de nickel par année. Une grille plus fine a été modélisée pour caractériser l'impact de l'usine Wall Colmonoy. À partir de cette grille, UK DEFRA estime à environ 2 100 personnes la population touchée par les dépassements.

Figure 16 Zones de dépassement de la valeur cible de nickel – Zone urbaine de Swansea, UK



Source : UK DEFRA, novembre 2017

Le rapport de l'UK DEFRA (2017) mentionne que l'amélioration de la qualité de l'air constitue une priorité élevée pour le gouvernement gallois. De multiples réunions entre le gouvernement, les législateurs (émetteurs des permis) et les opérateurs des usines concernées ont permis :

- au gouvernement gallois de communiquer aux intervenants l'ampleur et le sérieux de l'enjeu;
- aux législateurs de démontrer que les opérateurs des usines appliquent les MTD;
- aux opérateurs des usines de coopérer et partager les meilleurs pratiques pour la gestion des émissions de leurs activités;
- l'identification et la compréhension des sources prédominantes de nickel après analyse.

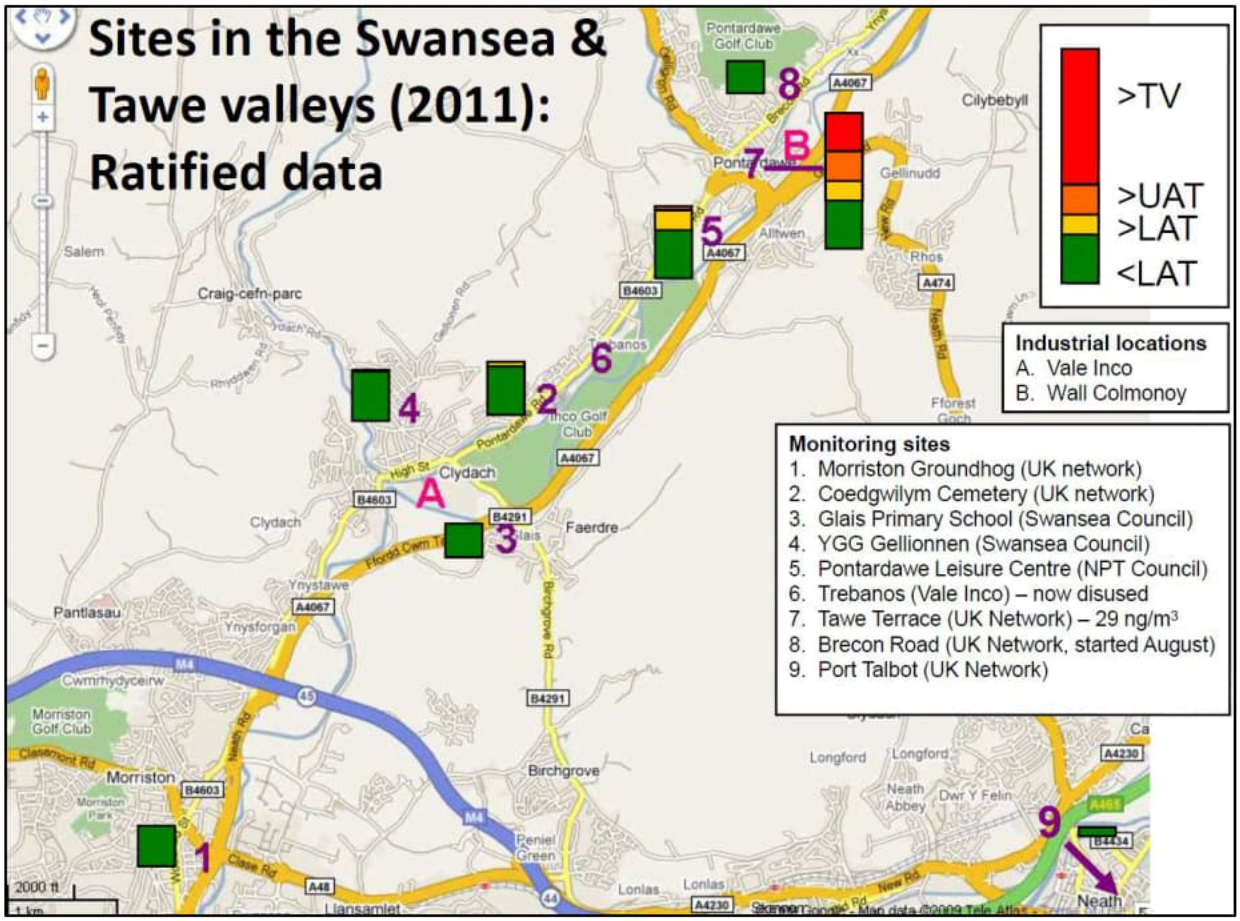
Les émissions annuelles de nickel rapportées par les deux entreprises sont variables, tel que démontré au Tableau 15. Comme il arrive parfois dans ce type d'analyse, la raffinerie Vale était initialement le seul complexe industriel ciblé pour les dépassements de nickel dans l'air ambiant. Toutefois il s'est avéré qu'il y avait sûrement d'autres sources de nickel, puisque les concentrations mesurées par la station d'air ambiant no 7 étaient toujours supérieures aux concentrations mesurées à la station no 5 en 2011 (Figure 17), même après le remplacement

du précipitateur électrostatique par un filtre à manches plus performant en 2007 qui a résulté à une réduction majeure des émissions de nickel (voir tableau 15). Notons que la station no 7 est plus éloignée de la raffinerie Vale que la station no 5.

Tableau 15 Émissions annuelles rapportées par les industries – Cas Swansea

Émissions (kg/an)		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Vale	Cheminée	3 154	2 855	193	56	96	25	31	42	11	108
	Autres	12	116	93	45	16	11	29	37	12	38
	Total	3 166	2 971	286	101	112	36	60	79	23	146
Wall Colmonoy	Cheminée	-		158	158	90	37	75	16	4	24

Figure 17 Portrait des concentrations de nickel (2011) dans les vallées Swansea et Tawe



Source : Geoff Marquis.(no date). Nickel in Tawe Valley.

Les tableaux 16 et 17 listent les mesures d'atténuation mises en place par les deux entreprises depuis que le nickel dans l'air ambiant est devenu un enjeu. Les législateurs ont jugé qu'elles constituaient des MTD pour leur industrie respective.

Tableau 16 Mesures d'atténuation mises en œuvre par la raffinerie Vale

	Mesure d'atténuation	Date
Mesure no 1[(1)]	Remplacement du précipitateur électrostatique par un épurateur à sacs filtrants	2007
Mesure no 2	Réhabilitation des sols des terrains non utilisés pour confiner le nickel	2011
Mesure no 3	Consolidation de trois points d'émissions relatifs aux trémies de l'usine de poudres à un point d'émission canalisé vers un filtre à haute efficacité	2012
Mesure no 4	Couverture des convoyeurs d'alimentation par des enceintes fermées et remplacement du revêtement latéral	2013
Mesure no 5	Remplacement des 1 700 sacs de l'épurateur à sec (entretien préventif)	2014
Mesure no 6	Remplacement du séchoir au gaz naturel de l'usine de traitement des effluents par un séchoir sous vide, ce qui a résulté en une amélioration du séchage des boues du traitement des eaux et l'élimination de trois points d'émission.	2017

(1) Émissions de particules de ~ 10 mg/m^3 réduites à moins de 1 mg/m^3
Émissions annuelles de nickel de 2855 kg (2007) réduites à 100 kg (2009) et 42 kg (2013) – selon le tableau 14

Tableau 17 Mesures d'atténuation mises en œuvre par l'usine Wall Colmonoy

	Mesure d'atténuation	Date
Mesure no 1[(1)]	Ajout d'un cyclone à l'eau (Aqualine) - filtration des émissions de fonderie	2010
Mesure no 2	Nouveau filtre à sacs dans la section des poudres	2014
Mesure no 3	Nettoyage à fond de la section des poudres	2014
Mesure no 4	Nouveau système de vacuum central à la section des poudres	2015
Mesure no 5	Nouveau filtre dans la section de l'ébarbage	2014
Mesure no 6	Nettoyage à fond de la section atomisation	2014
Mesure no 7	Installation d'un rideau entre la chambre des poudres et les séchoirs pour réduire les émissions fugitives	2014
Mesure no 8	Confinement des points de transfert	2015
Mesure no 9	Nouvelle enceinte fermée et ajout d'un filtre pour les mélangeurs au tamis	2014
Mesure no 10	Ajout de bandes d'étanchéité entre les fours et la tour d'atomisation pour la fabrication des poudres	2014
Mesure no 11	Mise à niveau du dépoussiéreur avec des sacs plus performants	2014
Mesure no 12	Confinement du tamis Russell avec des rideaux	2014
Mesure no 13	Installation d'un filtre à sacs pour la scie	2014
Mesure no 14	Cyclone et filtre à sac utilisés à l'atomisation des poudres	2014
Mesure no 15	Filtre à haute efficacité pour les unités de séchage d'air pour les retours d'air à l'intérieur	2014
Mesure no 16	Suivi du nickel à l'intérieur de l'usine pour identifier les 'points chauds'	2015 à 2018
Mesure no 17	Suivi du nickel en air ambiant pour identifier les 'points chauds'	
Mesure no 18	Modification des capots des fournaises Extraction simultanée du métal sur deux fournaises au lieu des quatre	2016
Mesure no 19	Installation d'une alarme sur l'alimentation en eau du système de filtre Aqualine	2015
Mesure no 20	Vérification des manomètres à pression différentielle de tous les systèmes de ventilation à l'atmosphère	2015
Mesure no 21	Amélioration des sécheurs d'air des systèmes de ventilation	2016
Mesure no 22	Système d'extraction limité aux fumées des appareils de soudure lors d'entretiens	2015
Mesure no 23	Fermeture des portes de l'aire d'entretien	2015
Mesure no 24	Amélioration des arrangements pour la décantation des poudres et de l'aspiration vers le filtre	2015
Mesure no 25	Rejet sous pression positive pour accentuer la pression sur le néoprène des points de transfert	2016

	Mesure d'atténuation	Date
Mesure no 26	Installation d'une enceinte fermée autour du système d'alimentation vibrant	2016
Mesure no 28	Évaluation de la faisabilité d'un filtre à manches	2014
Mesure no 29	Poussières recueillies dans des barils étanches et scellés. Poussière saturée d'eau du système Aqualine placées dans un conteneur en vrac.	2014

(1) Mesure de 0,01 mg/Nm^3 à l'émission inférieure à la limite autorisée de 15 mg/Nm^3

En 2014, Wall Colmonoy avait évalué la possibilité de remplacer son système de filtration humide des émissions de la fonderie par un filtre à manches (mesure no 28). Comme le système en place était déjà une MTD, avec des émissions avoisinant les limites de détection analytique, le potentiel d'amélioration était jugé faible avec des coûts élevés (~ 300 000 CAD) et des incertitudes quant à la performance du système alternatif.

Le service de la qualité de l'air du DEFRA a effectué une analyse détaillée des sources de nickel, qui s'est échelonnée sur une période de deux ans, afin d'identifier les causes potentielles de dépassement à la station Tawe Terrace. Cette analyse a impliqué la modélisation de la dispersion atmosphérique des sources d'émission de nickel, vite apparue comme déficiente pour l'analyse due à l'incertitude liée à la variation des émissions des sources en présence. Le portrait a commencé à se préciser lorsque la fréquence des analyses d'air ambiant prélevées à partir d'un échantillonneur séquentiel Partisol est passée d'une base hebdomadaire à journalière entre les mois d'aout 2015 et février 2016. Les mesures ont alors permis d'une part d'identifier une forte corrélation entre le nickel et le manganèse, une combinaison de substances utilisées uniquement par les procédés de Wall Colmonoy, et d'autre part, d'établir que les concentrations élevées de nickel survenaient lorsque le vent venait du nord-ouest. De plus, les concentrations mesurées étaient basses les fins de semaine, alors que l'usine Wall Colmonoy était fermée. DEFRA a relevé que certaines activités de l'usine étaient associées à des concentrations élevées de nickel en fin de mois, ce qui a mené à de meilleures pratiques pour la gestion des résidus à l'usine pour éviter les dégagements de poussières pendant leur transbordement en vue de leur élimination.

À la fin de 2015, le gouvernement gallois a mandaté le groupe de recherches environnementales de l'université King's College London (KCL) pour évaluer de façon plus détaillée la provenance des concentrations élevées de nickel mesurées à la station Tawe Terrace. Un laboratoire mobile à la fine pointe de la technologie a été déployé à cette fin. Un des objectifs était de déterminer la contribution potentielle de sources jusqu'alors inconnues. La campagne a suivi les concentrations horaires de plusieurs métaux dans les particules, avec une attention particulière apportée au nickel et aux composés métalliques utilisés à Wall Colmonoy. Les mesures ont montré une forte corrélation entre des concentrations élevées de nickel et de chrome (rien sur le manganèse cette fois) associées à des vents faibles en provenance du nord et l'est, donc de Wall Colmonoy. Les émissions de nickel étaient associées à des particules ultra fines (< 50 nanomètres), attribuées aux sources de haute température de la fonderie, par opposition aux sources mécaniques de broyage et d'ébarbage. Les efforts de réduction des émissions devraient donc se concentrer sur les procédés à haute température de l'usine. De plus, les mesures horaires ont permis d'identifier que les concentrations journalières étaient lourdement influencées par des épisodes transitoires de concentrations élevées. KCL a ainsi déterminé que la contribution totale de Wall Colmonoy aux concentrations de nickel était de l'ordre de 25 à 40%.

L'équipe de KCL a aussi déterminé que la raffinerie Vale contribuait significativement aux concentrations moyennes de nickel lorsque le vent provenait du sud-ouest. Des ratios

d'émission de métaux différents de ceux de Wall Colmonoy, en particulier appauvris en chrome, ont été mesurés dans ces conditions. L'analyse a aussi démontré que la contribution en nickel était associée à des particules ultra fines, laissant présager une origine par source de combustion. En tout, les résultats suggèrent une contribution significative de la raffinerie Vale, avec une contribution estimée de 37-40% aux concentrations ambiantes de nickel observées pendant la campagne de mesures. Une analyse détaillée a ensuite été réalisée à partir des données d'air ambiant observées aux stations depuis 2004 et de la modélisation des événements ayant pu mener à ces concentrations à partir des données météorologiques correspondantes. Cette analyse a permis de conclure que la super cheminée de la raffinerie n'était pas en cause, et que le contributeur était plutôt une source de combustion avec une hauteur de cheminée peu élevée. Cette source était en fait le séchoir des boues du traitement des eaux que Vale a alors remplacé par un système sous vide en 2017.

L'ensemble des mesures de réduction apportées a permis de baisser la concentration moyenne annuelle de nickel à 18,4 ng/m^3 dans les PM_{10} en 2017 (vs. 28 à 46 ng/m^3, lors des 6 années précédentes à la même station de mesure), malgré une pointe maximale hebdomadaire de 188 ng/m^3 et des concentrations hebdomadaires dépassant 20 ng/m^3 dans 17% des mesures, soit 9 semaines (et 14 ng/m^3 dans 43% des mesures, soit 23 semaines).

4.3 Nouvelle-Calédonie

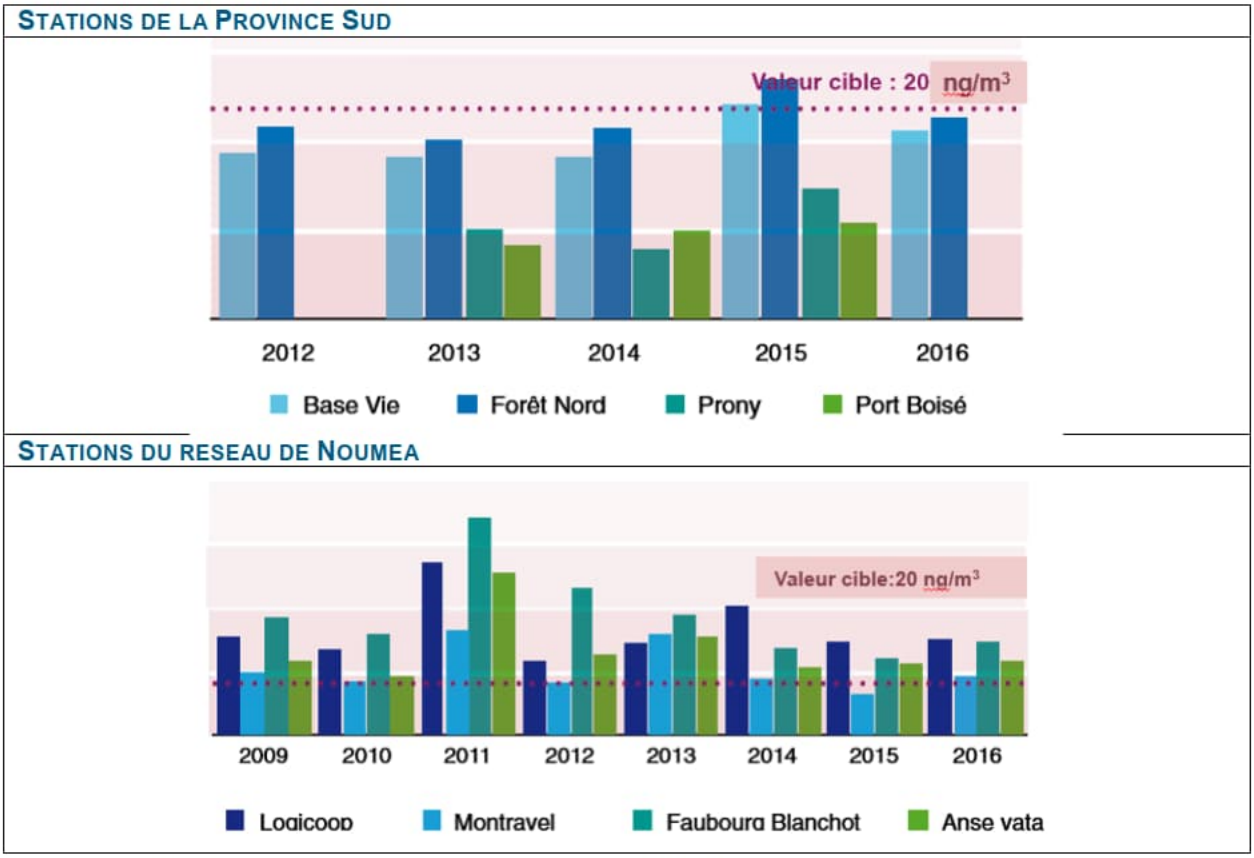
À ce jour, les niveaux de nickel dans l'air ambiant ne sont pas encore un enjeu au point de vue des autorisations de nouveaux projets de nickel. L'Association Calédonienne de surveillance de la qualité de l'air (Scal'Air, 2015) prélève les métaux dans les PM_{10} et les analyse sur une base hebdomadaire grâce à un préleveur automatique de particules fines conforme à la norme de référence européenne EN 12341. Les résultats de mesures sont comparés à la valeur cible européenne, donc à la valeur annuelle de 20 ng/m^3 dans le cas du nickel.

Dans son plan de surveillance de la qualité de l'air pour l'horizon 2018-2022, Scal'Air présente les concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} aux 8 stations de mesure des métaux dans les PM_{10} (Figure 18).

Les concentrations hebdomadaires de nickel dans les PM_{10} ont varié entre 15 et 80 ng/m^3 sur les sites de mesure du laboratoire mobile de Scal'Air en 2012 et 2013. Les concentrations élevées de nickel ont été corrélées avec les vents en provenance des industries de nickel de la région. D'autres analyses réalisées avec des échantillonneurs de marque Partisol installés aux différentes stations de mesure ont indiqué des concentrations hebdomadaires de nickel dans les PM_{10} variant entre 160 et 200 ng/m^3 à plusieurs reprises durant la même période. La figure 18 montre que la valeur cible annuelle de 20 ng/m^3 est systématiquement dépassée à 3 des 4 stations d'air ambiant du réseau de Nouméa entre 2009 et 2016. Pour la même période aux stations de la Province Sud, seule l'année 2015 a enregistré un léger dépassement à une des quatre stations d'air ambiant.

De façon générale, les dépassements de la valeur cible établie pour le nickel ne semblent pas avoir été à l'origine en Nouvelle-Calédonie de quelconques actions en termes de mesures additionnelles, plan d'actions, ou autres.

Figure 18 Historique des concentrations annuelles de nickel dans les PM_{10} en Nouvelle-Calédonie



Source : Scal Air. Plan de surveillance de la qualité de l'air 2018-2022.

4.4 Australie

4.4.1 Port Esperance

Port Esperance est un port industriel situé sur la côte sud de l'Australie de l'ouest (Western Australia – WA), à environ 600 km à vol d'oiseau de Perth. Il y transite chaque année environ 15 millions de tonnes/an de matériel (15 Mtpa dont 14 Mtpa pour exportation) composé à 75% de minerai de fer (~12 Mtpa) et à environ 20% de grain (2 à 2,8 Mtpa). Port Esperance est reconnu comme le plus grand port de concentré de nickel de l'hémisphère sud. Du nickel et de l'hydroxyde de nickel y sont transités depuis plus de 40 ans à hauteur de 0,1 à 0,3 Mtpa. Le quai de chargement des navires de nickel est situé à 800 m des résidences les plus proches.

Les activités du port sont régies par la Licence L5099/1974/14 du Département de règlementation environnementale de l'état de WA, régulièrement amendée en fonction des nouvelles activités prévues au port (dernière version émise le 23 février 2018). Au 3^{e} trimestre de 2006, le port a commencé à expérimenter des problèmes liés aux divers concentrés venant des mines (Sinclair Knight Mertz, 19 décembre 2007). Le concentré de nickel était particulièrement odorant, tandis que le concentré de plomb était particulièrement sec. Les autorités portuaires ont alors commencé à œuvrer avec les compagnies minières pour améliorer la qualité de l'air. D'ailleurs, en décembre 2006 et janvier 2007, des mortalités massives d'oiseaux empoisonnés au plomb, de même que des niveaux élevés de plomb relevés par le Département de l'Environnement et de la Conservation (DEC) du WA dans le corridor de transport entre la mine et le port ont amené l'arrêt des expéditions de carbonate de plomb en mars 2007.

L'odeur est causée par la combinaison du soufre présent dans le minerai de nickel avec le xanthate ajouté durant le procédé de concentration. L'odeur émane par petites bouffées particulièrement malodorantes lorsque les piles de concentrés sont perturbées pendant le chargement d'un navire. Le problème est connu depuis 2001, bien que des actions aient permis de l'atténuer en bonne partie, comme l'ajout d'un filtre au charbon à la trémie de déchargement des wagons des trains. D'autres mesures ont été mises en place, comme l'amélioration du système de collecte des poussières au hangar de minerai de nickel, l'entretien de ce bâtiment incluant le remplacement du revêtement métallique et du toit, pour réduire les émissions fugitives pendant la manipulation du minerai.

En regard du nickel, des tests menés en 2007 par le DEC ont montré des concentrations élevées dans les bassins d'eau de pluie près du port. Dès lors, le DEC a commencé à suivre de près les chargements des navires en nickel. Le port a aussitôt mis en place des mesures pour s'assurer que les arrivages de concentré contiennent des niveaux acceptables d'humidité avant d'être admis au port. Le DEC a émis par la suite un avis de protection de l'environnement (3 décembre 2007) en regard des émissions de nickel, enjoignant les autorités du port à analyser les données historiques de qualité de l'air et à déployer des stations de mesure des retombées de poussières, de mesure des concentrations de particules en continu (analyseur de marque TEOM) et d'échantillonnage à grand débit afin de suivre adéquatement les concentrations de nickel dans l'air ambiant. Le plan devait comprendre un suivi journalier à chaque chargement de nickel, et aux six jours autrement.

Dans la même foulée, le Port mettait en place un protocole de gestion du vent le 12 décembre 2008 pour les chargements de concentré, qui permet le chargement en vrac des navires seulement lorsque le vent souffle vers le large. Une norme d'air ambiant sur 24 h de 0,14 µg/m^3 de nickel dans les PST est ensuite entrée en vigueur le 6 janvier 2009 par la Licence 5099/1974/12 du Département de la règlementation environnementale de l'état du WA (DWER). Le nickel est mesuré dans les PST à tous les six jours, à quatre stations de suivi entourant les opérations de Port Esperance et à une station de suivi communautaire (station 5) située à environ 1,6 km du port (Figure 19).

Le département de la santé (DoH) avait suggéré à l'époque un critère d'air ambiant annuel (ligne directrice) de 3 ng/m^3 pour le nickel dans les PM_{10}, visant la prévention des effets potentiels cancérigènes, mais celui-ci n'a pas été inscrit dans la Licence. Ce critère est mentionné une seule fois, dans le premier rapport annuel de qualité de l'air (Sinclair Knight Mertz, 2009) réalisé pour satisfaire aux exigences de la Licence. L'autorité portuaire avait mentionné dans son rapport annuel de 2010-2011 qu'il n'est pas techniquement réalisable de se conformer à cette limite annuelle pour la manipulation en vrac de nickel. Les rapports annuels de qualité de l'air n'ont jamais fait référence à ce critère annuel par la suite.

La figure 20 montre que les concentrations ont généralement baissé depuis 2008, surtout depuis que la majeure partie des expéditions est effectué par conteneurs fermés. Bien que le transport du minerai dans des conteneurs élimine en principe les émissions fugitives, il est possible que du nickel soit émis à partir des routes portuaires non pavées ou de la présence du matériel sur la surface extérieure des conteneurs provenant de la mine. L'année se terminant au 30 septembre 2017, la valeur maximale sur 24 h de nickel dans les PST fut de 29 ng/m^3 dans l'ensemble des cinq stations de mesures, et près de 60% des mesures étaient égales ou inférieures à 3 ng/m^3.

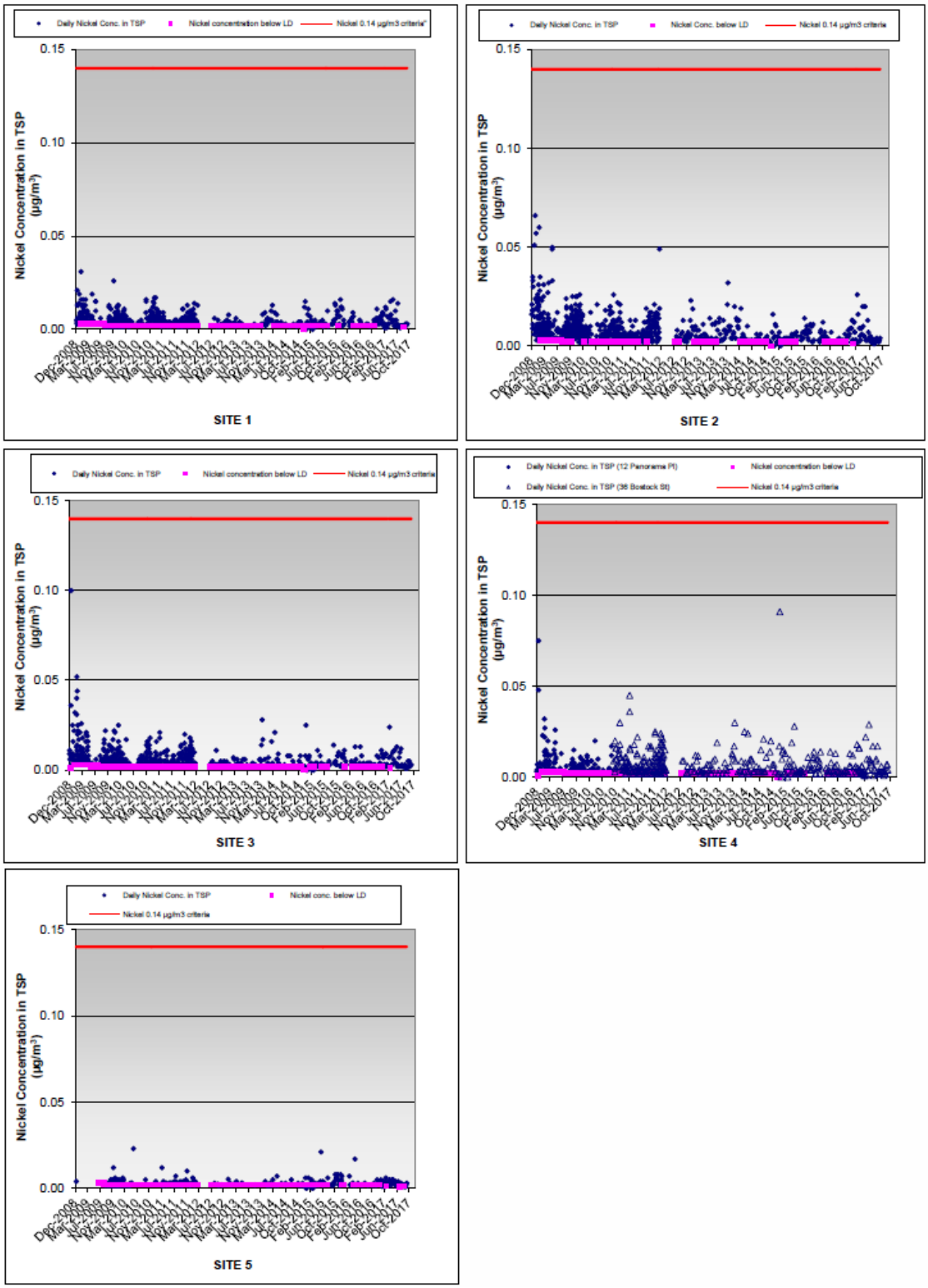
En 2011, les autorités du Port constataient que malgré un investissement récent de 23 millions AUD$, la condition générale des installations du circuit de chargement du concentré en vrac était mauvaise (forte corrosion d'une section de l'unité de chargement des navires). Des coûts additionnels étaient à prévoir pour la manutention du concentré, que les compagnies minières n'étaient pas prêtes à assumer. Celles-ci se sont tournées naturellement vers le transport du minerai dans des conteneurs jusqu'à destination et le bâtiment d'entreposage du concentré de nickel a été par la suite démoli.

Nickel concentrate from Xstrata Nickel operations being road transported to the Port.

Figure 19 Localisation des stations d'échantillonnage d'air ambiant, Port Esperance

Sites 1 à 5 : Sites de mesures des métaux dans les PST (nickel, fer, souffre, plomb, lithium)
EP : Site d'échantillonnage des PST en temps réel
Source : Southern Ports – Esperance. 19/12/2007. Annual Ambiant Air Quality Monitoring Report.

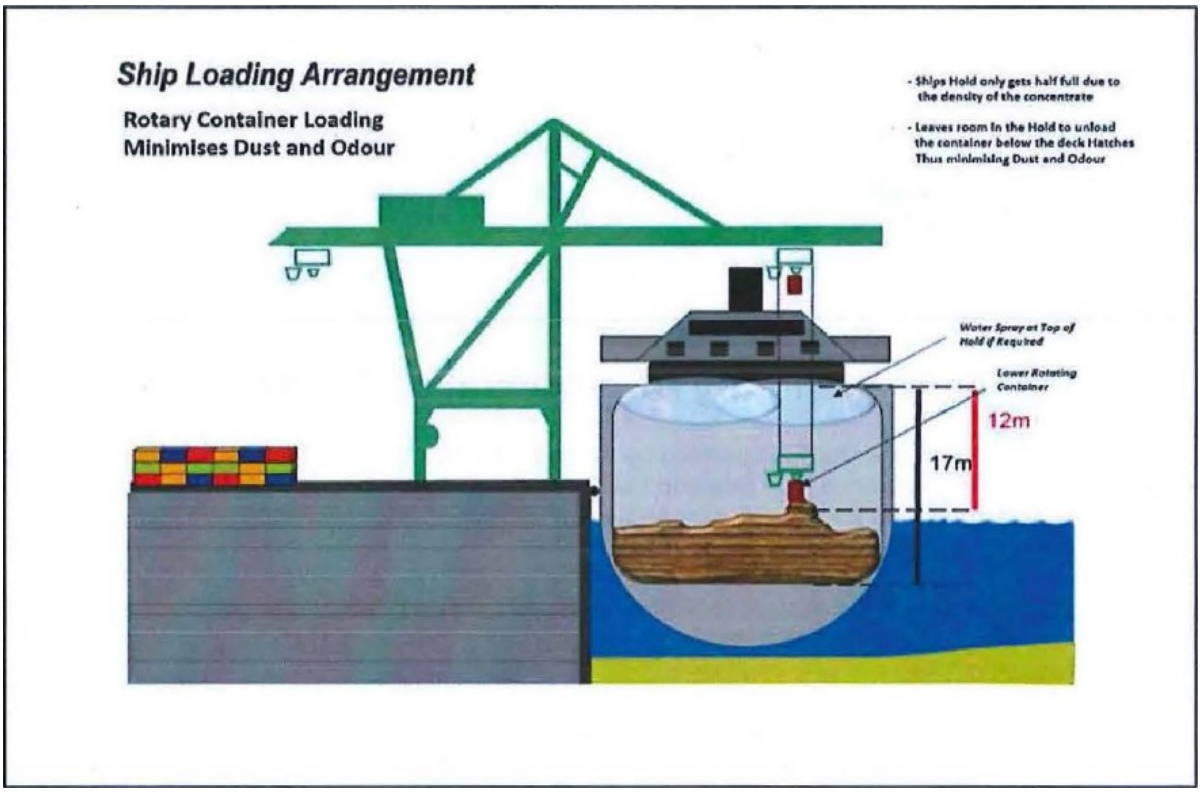
Figure 20: Concentrations sur 24 h de nickel dans les PST, Port Esperance (2008-2016)



Source : Southern Ports – Esperance. 19/12/2007. Annual Ambiant Air Quality Monitoring Report.

Les chargements par conteneurs fermés se sont déroulés pendant six ans, de 2010 à 2016. La Licence amendée en 2018 fait état d'une autorisation de travail (W5840/215/1) pour l'essai de cinq chargements de navire par un système rotatif basculant les conteneurs de concentré de nickel à l'intérieur même de la cale du navire, tout en vaporisant un brouillard d'eau au-dessus de la cale pendant les chargements (Figure 21). L'autorisation de travail, qui se terminera le 3 janvier 2019, vise 220 000 tpa de nickel et 50 000 tpa de cuivre. Un monitoring régulier est exigé pour les PST, les PM_{10}, et la spéciation (cuivre et nickel) durant les chargements afin de vérifier la performance du mécanisme de contrôle des poussières. À la fin de l'essai, le DoH sera consulté quant aux risques à la santé publique de la manipulation des concentrés de cuivre et de nickel en vrac. Le DWER réglementera par la suite les chargements de concentré de nickel en vrac basé sur les contrôles proposés ou des contrôles additionnels, et amendera la Licence le cas échéant.

Figure 21 Chargement par système rotatif basculant, Port Esperance



Source : WA DER, 31/12/2015. Decision Document. Works Approval W5840/2015/1

4.4.2 Projet de raffinerie de nickel, Gladstone (Queensland)

En 2007, Gladstone Pacific Nickel Limited (GPNL) a déposé une étude d'impact pour la première phase d'un projet de raffinerie de nickel à Gladstone (Queensland) visant une capacité de 63 000 t/an de briquettes de nickel et 5 000 t/an de briquettes de cobalt, de même qu'une deuxième phase augmentant la capacité à 126 000 t/an de nickel au total. Le minerai (10 Mtpa en Phase 2) sera importé ou acheminé en suspension liquide par pipeline du gisement Marlborough à 175 km de Gladstone. À ce jour, l'image aérienne récente (2018) ci-contre montre que seuls les travaux de préparation du site sont terminés.

Cette étude d'impact incluait une étude de dispersion atmosphérique réalisée avec le modèle Calpuff à partir d'une année de données météorologiques horaires collectées en 2001 sur le site proposé pour la raffinerie. L'étude de dispersion a évalué les concentrations annuelles de nickel d'une seule source, soit le four de frittage de nickel, basée sur une émission maximale de 1 mg/Nm^3 à la cheminée. Pour les particules fines ($PM_{2.5}$ et PM_{10}), l'étude a inclus les émissions de poussières résultant de la manipulation du minerai et du sous-produit de sulfate d'ammonium cristallisé incluant les activités de déchargement des navires, trains et convoyeurs, les piles de minerai et de soufre, et les activités de chargement du sulfate d'ammonium dans des camions et dans les navires.

Les résultats de la dispersion du nickel pour les deux phases du projet montraient que les concentrations annuelles dépassant la ligne directrice de l'OMS (2,5 ng/m^3 pour un risque additionnel de cancer de 1 : 1 000 000) resteraient localisées autour de la raffinerie, à l'intérieur de la zone industrielle. Comme la zone affectée par ce dépassement ne touchait aucune résidence (le plus proche quartier résidentiel est à 11 km à l'est du site), l'étude de dispersion en a conclu qu'il n'était pas nécessaire de procéder à une analyse de risques pour la santé.

Le rapport du coordonnateur général du gouvernement du Queensland (15 janvier 2009) a approuvé le projet sous certaines conditions, soit :

- Un rapport de performance devra être fourni suivant la mise en œuvre de la Phase 1 et devra couvrir au moins 12 mois d'exploitation à une production de plus de 80% de la capacité nominale de la raffinerie. Ce rapport est une exigence préalable à l'autorisation de la Phase 2, et permettra de raffermir les conditions clés liées aux émissions atmosphériques et aux rejets liquides, si les objectifs environnementaux (benchmark) estimés par GPNL dans l'étude d'impact ne devaient pas être respectés. Ce rapport de performance doit couvrir les niveaux de nickel, cobalt, chrome et métaux totaux dans les retombées de poussières au sud-est de la raffinerie;
- Les rejets ne doivent pas excéder 30% les rejets prévus à l'étude d'impact;
- Les conditions d'autorisation pour le volet air (Conditions Schedule B) demandent:
  - l'implémentation de mesures de contrôle des poussières;
  - le monitoring des retombées de poussières mensuelles et des concentrations de PM_{10} en continu dans l'air ambiant à l'extérieur de la limite de propriété de l'usine (la localisation et le nombre de stations restaient à définir), selon les méthodes prescrites par les standards australiens AS 3580 et AS 3580.9:2001;
  - la concentration moyenne courante sur 24 h de PM_{10} doit être inférieure à 50 µg/m^3;

- en cas de plaintes de nuisance relatives aux poussières et aux particules, l'autorité pourra exiger des mesures supplémentaires de retombées de poussières et de PM_{10} dans un lieu pertinent au milieu affecté, ainsi qu'à une station de contrôle en amont des vents dominants.
- le rejet des émissions atmosphériques ne peut se faire qu'aux sources prescrites, i.e. celles identifiées à l'étude d'impact. Les émissions de nickel du four de frittage du nickel doivent être mesurées à la source et rapportées aux autorités à chaque trimestre. La caractérisation doit être conforme avec les standards australiens applicables.
- une étude de vérification des émissions doit être fournie 6 mois après le début des opérations pour identifier toutes les sources d'émissions (cheminées, sources de surface et autres sources), en plus de celles identifiées à l'étude d'impact.
- un programme de gestion environnemental détaillé doit être soumis aux autorités avant le début de l'exploitation de la raffinerie.

Si l'étude d'impact reflète le peu d'informations disponibles sur les sources d'émission de nickel au moment de la conception du projet, il semble optimiste, basé sur les mesures récentes de nickel dans les PM_{10} collectées autour des raffineries de nickel ailleurs dans le monde, de prétendre que les concentrations annuelles seront inférieures à 2,5 ng/m^3 à proximité de l'usine. Le fait que le nickel et le cobalt ne soient pas caractérisés dans les PM_{10} à tous les six jours constitue une lacune importante du dossier, pour ce qui est du programme de suivi de la qualité de l'air, qui pourra être cependant rectifiée par les autorités. D'autres sources d'émission de nickel à l'atmosphère seront vraisemblablement ajoutées en marge de l'avis d'autorisation de la Phase 2 si le projet est un jour réalisé.

4.4.3 Projet de nickel Wingellina (Australie de l'ouest)

En septembre 2015, Hinckley Range Pty Ltd, filiale de la junior Metal X Ltd, a déposé une étude d'impact pour un projet d'exploitation de mine à ciel ouvert (~4,5 Mtpa) et un concentrateur produisant un concentré intermédiaire d'hydroxyde de nickel-cobalt à Wingellina (WA) visant une production de 40 000 t/an de nickel et de 3 000 t/an de cobalt.

MILIEU D'INSERTION

Le projet de nickel de Wingellina est particulier du fait que le milieu d'insertion est situé dans un territoire revendiqué par les aborigènes Ngaanyatjarra. L'aire de protection des terres indigènes (IPA) de Ngaanyatjarra a été déclarée en août 2002 et est la plus grande IPA déclarée en Australie. La communauté aborigène Irrunytju réside dans l'ancien camp d'exploration Wingellina, appelé simplement le village de Wingellina. Cette communauté est formée de 60 à 100 personnes, dont 60 résidents permanents et une quarantaine qui viennent y résider périodiquement. La communauté est dans une situation socio-économique difficile et dans un état important de vulnérabilité, avec des mauvaises conditions de vie, des infrastructures déficientes en santé et en éducation, de faibles revenus en dessous du seuil de pauvreté, et des opportunités d'emploi limitées.

Le paysage est désertique, aride et poussiéreux lorsque le vent souffle. La poussière est connue pour provoquer un excès de plaintes oculaires, thoraciques et nasales chez les membres de la communauté. Parmi les autres problèmes de santé importants observés, mentionnons une mauvaise alimentation, l'inactivité physique et des taux élevés de tabagisme. Il a également été noté par URS (2012) que les maladies respiratoires sont aggravées par l'absence de routes pavées (scellées) dans la plupart des communautés de la région de Ngaanyatjarraku.

ÉVALUATION DE L'EPA DU WA

L'autorité de protection environnementale (EPA) du WA note dans son rapport (juin 2016) que le projet respecte la distance minimale générique de 1 500 à 3 000 m promulguée dans son guide '*Guidance Statement No 3 – Separation distance between industrial and sensitive land uses'* (EPA 2005) entre les activités d'une grande mine à ciel ouvert (plus spécifiquement le concentrateur) et les récepteurs sensibles. Le projet propose une distance de 2 000 et 1 700 m respectivement entre les aires perturbées par le projet et le village de Wingellina et le village des travailleurs.

L'étude d'impact a comporté une étude de dispersion atmosphérique des principaux contaminants, y compris les particules fines avec le modèle de dispersion Calpuff, réalisée par la firme Air Assessments, en conformité avec l'approche définie dans le guide du département de l'environnement 'Air Quality Modelling Guidance Notes, 2006'. Étant donné le contexte du milieu d'insertion affecté par le projet, le département de la santé a exigé une étude des risques sur la santé (HRA) portant spécifiquement sur les niveaux de nickel dans les PM_{10} en vue d'évaluer la conformité du projet par rapport au critère applicable de santé publique du DoH (niveau annuel de 0,003 µg/m^3 dans les PM_{10}). L'étude a dérivé la proportion de nickel dans les PM_{10} par une analyse chimique des retombées de poussières échantillonnées au village de Wingellina et au village des travailleurs pour y être appliquée aux résultats de dispersion atmosphérique. Le HRA arrive à la conclusion que la concentration annuelle de nickel dans les PM_{10} serait de 2 ng/m^3 au village des travailleurs et de 2,3 ng/m^3 au village de Wingellina.

N'eut été de la situation particulière de Wingellina et des conditions de santé précaires de la communauté, aucune analyse de risque avec détermination des niveaux de nickel dans les PM_{10} n'aurait été exigée par le département de la santé aux fins de l'autorisation.

Le DoH s'est dit satisfait de l'étude, à la condition qu'un plan de gestion des poussières soit mis en œuvre, incluant des stations de mesure du nickel dans les PM_{10} avec des échantillonneurs à grand débit, et que les échantillonnages et analyses soient faites en fonction des standards australiens pertinents. Le promoteur a préparé un plan de gestion de la qualité de l'air couvrant les activités de construction et d'exploitation, qui comprend des mesures de gestion et de suivi avec des objectifs et des cibles de qualité de l'air. Les mesures d'atténuation générales proposées pour réduire les émissions fugitives de poussières ont satisfait l'EPA du WA, incluant sans s'y limiter :

- L'application d'abat poussière (eau et autre abat poussière autorisé) sur les routes de transport et les piles de stockage le cas échéant;
- Le contrôle de la vitesse des véhicules sur les routes non pavées;
- La planification des dynamitages pour coïncider avec des conditions météorologiques favorables, dans la mesure du possible;
- Le pavage des routes à fort usage, telles que les routes d'accès desservant les activités minières;
- Le maintien du matériel suffisamment humide pour réduire la génération des poussières des activités de broyage et de tamisage;
- La mise en œuvre progressive du défrichage et de la restauration pour minimiser la surface des aires dénudées;
- Le suivi et soumission des niveaux de nickel dans les PM_{10} aux autorités.

Par ailleurs, le DoH est d'accord avec le fait que le projet permettrait au village d'avoir accès à de meilleurs produits alimentaires; à des opportunités de mentorat, formation et d'emplois; de bénéficier de support pour le développement de petites entreprises, au support des jeunes pour l'éducation, d'améliorer leur infrastructure, et aux travailleurs aborigènes de bénéficier d'horaires flexibles.

Le projet a fait l'objet d'une approbation le 1er septembre 2016. Avec la montée substantielle du prix du cobalt, le promoteur Metal X Limited a continué de rechercher les meilleures veines de cobalt / nickel et a réalisé des forages additionnels en vue de produire du sulfate de cobalt et du sulfate de nickel pour l'industrie des batteries. Le promoteur procède présentement à des essais métallurgiques pour optimiser son procédé.

4.5 Michigan

Les États-Unis ne possèdent qu'une seul mine active de nickel (et de cuivre), soit la mine souterraine Eagle Mine au Michigan (USGS, 2017) qui produit, depuis l'automne 2014, de 20 000 à 25 000 t/an de concentré de nickel exporté vers les fonderies canadiennes. Cette mine a modernisé un concentrateur de minerai de fer situé à environ 30 km à vol d'oiseau, et 105 km par la route. La mine a une durée de vie estimée de 8 ans, mais les travaux d'exploration sont en cours pour l'accroître par le propriétaire Lundin Mining, dont le siège social est à Toronto. La communauté la plus proche (villégiature), Big Bay, est à 24 km de la mine. Le territoire est utilisé par les Premières nations pour la chasse et la pêche.

La demande de permis d'installation relative aux émissions atmosphériques déposée par Kennecott Eagle Minerals Company (Dec 2005) a évalué les concentrations ambiantes des PM_{10}, du NO_2, du SO_2 du CO et du plomb, en plus de quatre métaux, dont le nickel. La modélisation avait été réalisée avec le modèle de l'époque (ISCST3) et une année de données météorologiques, sur une grille de récepteurs aux 25 m jusqu'à 500 m de la propriété. Dans une approche prudente de pire cas, les émissions de nickel ont été basées sur les facteurs d'émissions d'US EPA (AP42) de particules totales et la proportion de nickel calculé au 95^{e} centile des analyses représentatives du matériel concerné (roc, minerai, sols naturels du secteur, cendre volante entrant dans la composition du béton). Le calcul des émissions tient compte des hypothèses suivantes :

- Les opérations dans le bâtiment de concassage sont contrôlées avec un filtre à sac ayant une efficacité minimale de 99%. Les opérations incluent les activités de transfert au grizzly (crible à barres).
- Certaines sources volumiques telles les silos sont partiellement fermées. Il est considéré que ces enceintes fermées captureront 90% des émissions de particules.
- Les poussières émanant du transfert du minerai au grizzly de la mine souterraine seront contrôlées par des barres d'arrosage réduisant les émissions de particules de 90%.
- Le transfert et mélange du ciment et de la cendre volante sont effectués dans un bâtiment, ce qui réduira les émissions de poussières de 95%.
- Le transfert du roc à la trémie d'alimentation sera partiellement couvert. Cette enceinte partielle devrait permettre de réduire les émissions de particules de 90%.
- Le programme prévu d'arrosage des chemins, conjugué au programme de réduction des émissions de poussières, devraient permettre de réduire de 90% les émissions de particules.

Les sources ponctuelles considérées dans le calcul des émissions de poussières étaient les suivantes :

- Bâtiment de concassage : transfert au grizzly, grizzly, brise-roche stationnaire, convoyeur au concasseur, concasseur;
- Puits de ventilation de la mine : manutention souterraine du minerai, dynamitage, forage, déplacement souterrain de véhicules, manutention du roc, activités souterraines de remplissage progressif de la mine
- Déchargement pneumatique de la cendre volante
- Silos de minerai grossier : transfert du portal, transfert au concasseur, pile de minerai
- Silos de minerai broyé : convoyeur aux silos de minerai fin, silos de minerai fin, chargement des camions
- Transfert et mélange du ciment et de la cendre volante : transfert de la cendre volante au mélangeur, Mélange, transfert du mélange à la mine souterraine
- Aire de stockage extérieure du roc : transfert au stockage, transfert du stockage, transfert aux camions de transport, pile de stockage

Le routage lié au passage de véhicules comprenait les sources suivantes:

- le chemin entre le portal et l'aire de stockage du roc;
- le chemin entre le portal et le silo de minerai grossier;
- le parcours entre le silo de minerai grossier et le concasseur;
- le chemin pour la livraison du ciment et de la cendre volante;
- le chemin pour la livraison des agrégats pour la confection du béton;
- le chemin entre le stockage des agrégats et la trémie d'alimentation.
- le chemin de transport du minerai.

Les résultats de modélisation obtenus à la limite de propriété n'ont pas dépassé une concentration annuelle de 0,00295 µg/m^3 alors que le critère IRSL (Initial Risk Screening Level) du Michigan était à l'époque de 0,0042 µg/m^3**.** Il faut noter que ce même projet évalué selon les règles du DEQ de 2018 **aurait à se conformer au critère secondaire SRSL** de 0,058 µg/m^3 dans les $PM_{10.}$

Le permis d'installation émis par la division de la qualité de l'air du département de l'environnement du Michigan (DEQ) exige une émission limite de 0,1 kg de nickel par jour à la sortie du puits d'évacuation principal de l'air de la mine souterraine, qui correspondait au taux d'émission utilisé pour l'étude de dispersion. La suppression des poussières dans la mine souterraine se fait par arrosage des routes et des activités de manutention du roc. Pour ce qui est de l'air ambiant, la compagnie réalise de son propre chef un suivi occasionnel sommaire de la qualité de l'air ambiant, à raison d'une mesure de 24 h par mois dans la communauté la plus proche, à environ 20 km de la mine, pour 25 métaux dans les PM_{10} incluant le nickel. Ces mesures ne sont pas rapportées dans les rapports annuels de suivi déposés au DEQ. Les quelques données disponibles sur les concentrations de nickel dans les PM_{10} mesurées sur une base trimestrielle en 2013 étaient inférieures à 3 ng/m^3.

5 Méthodes d'atténuation existantes des émissions de nickel

Le Ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique de l'Ontario (MOECC) a publié en mars 2018 la version 6 des normes techniques de gestion de la pollution atmosphérique incluant une norme sectorielle pour les sites d'exploitation minière applicable à l'industrie minière du nickel-cuivre et du cuivre-zinc.

Cette norme sectorielle exige que l'industrie investisse dans les meilleures pratiques et technologies disponibles pour réduire les émissions atmosphériques et améliorer la qualité de l'air au fil du temps et vise entre autres à encourager les nouveaux investissements dans ce domaine. En termes pratiques, la norme sectorielle fournit un éventail prescriptif d'exigences quant au contrôle de la pollution de l'air ou des meilleures pratiques relatives aux sources clés qui contribuent le plus aux concentrations hors site de substances toxiques.

L'élaboration de la norme sectorielle pour l'industrie minière a donc nécessité une revue détaillée de ces sources clés pour les secteurs nickel-cuivre et cuivre-zinc ainsi qu'une analyse comparative des technologies et des meilleures pratiques de gestion utilisées dans le monde pour réduire les émissions de ces sources, en considération avec les enjeux économiques liés aux secteurs. De ce fait, la revue des méthodes d'atténuation existantes des émissions de nickel est basée principalement sur les méthodes prescrites à cette norme sectorielle de l'Ontario, le document le plus à jour disponible pour l'industrie du nickel.

Les sources dominantes d'émission de nickel pour l'industrie sont les suivantes :

- les aires de stockage;
- la manutention du matériel minier;
- les unités de traitement de minerai;
- les sites de disposition des résidus miniers;
- les puits d'évacuation de l'air des mines souterraines;
- les mines à ciel ouvert;
- les routes.

La section 5.1 ci-dessous identifie les prescriptions de la norme sectorielle quant aux meilleures pratiques pour réduire les émissions de nickel de chacune de ces sources. La norme sectorielle se distingue par la prescription de mesures d'atténuation propres aux divers états du minerai (minerai extrait, minerai broyé/tamisé, concentré, résidu minier). Aux fins de l'application de la norme sectorielle, le MOECC entend par récepteur un établissement de soins de santé ou d'éducation, une résidence pour personnes âgées ou de soins à long terme, une garderie ou une résidence. Enfin, bien que la norme alloue des délais et des mesures transitoires avant la mise en application de certaines mesures, la présente revue n'en fait pas mention étant donné que toutes les mesures seront applicables d'ici moins de deux ans (2020).

Comme la norme sectorielle ontarienne n'en fait pas mention, la section 5.2 a été ajoutée pour présenter une technologie de trémie de suppression des poussières pour la manutention du vrac, utilisée pour le chargement ou déchargement de wagons, camions, navires, la mise en piles, etc. Cette technologie disponible depuis une quinzaine d'années n'est pas utilisée au Québec, ni dans l'industrie du nickel. Comme elle est utilisée à travers le monde pour supprimer

la poussière associée la manutention du vrac d'une foule de produits poussiéreux dans divers domaines, nous l'estimons prometteuse pour l'industrie du nickel.

La section 5.3 présente quant à elle les meilleures pratiques liées à l'exploitation d'un complexe métallurgique transformant le minerai brut en matte, ferronickel ou tout autre produit à base de nickel. Ces meilleures pratiques proviennent de recommandations du bureau européen en matière de prévention et de contrôle intégré de la pollution (IPPC).

5.1 Norme sectorielle ontarienne

5.1.1 Aires de stockage

Les aires de stockage regroupent l'ensemble des secteurs où du minerai brut (extrait), du minerai broyé et tamisé ou du concentré de minerai sont stockés dans des piles à court ou long terme. Les émissions fugitives de poussières de nickel dépendent de la force du vent combiné au potentiel d'érosion du matériel et, en une moindre mesure, du niveau de perturbation de la surface de la pile. Le potentiel d'érosion, qui symbolise à toute fin pratique la quantité de matières érodables, dépend de quelques facteurs, dont le niveau d'encroutement et/ou d'humidité à la surface de la pile de minerai. Typiquement, le potentiel d'érosion d'une surface s'épuise graduellement jusqu'à ce que cette même surface soit de nouveau perturbée régénérant le potentiel d'érosion.

Dans ces conditions, les meilleures pratiques de mitigation des émissions fugitives de poussières comprennent les dispositifs mettant le minerai (incluant le minerai broyé et tamisé et le concentré de minerai) à l'abri du vent, les méthodes réduisant le potentiel d'érosion du matériel à la surface, et l'optimisation de la gestion des aires de stockage. Les meilleures pratiques utilisant ces concepts sont décrites au tableau 18.

5.1.2 Manutention du matériel minier

La manutention du matériel (chargement, déchargement et déplacement) vers les différents points de transfert peut causer des émissions fugitives de poussières plus ou moins importantes selon les conditions météorologiques du moment, les équipements et techniques de transfert utilisés et le matériel manipulé. Par exemple, les émissions sont normalement plus significatives lors de fort vent par temps sec ou lorsque le matériel subit des mouvements brusques qui favorisent l'émission de la fraction fine (silt) à l'atmosphère.

Les mesures d'atténuation doivent donc réunir les conditions pour que le matériel soit mis à l'abri des intempéries et/ou soit manipulé de façon à restreindre les mouvements brusques. Ceci dit, la norme sectorielle de l'Ontario ne traite que de mesures relatives à l'abri du matériel pour trois ensembles d'activités (Tableau 19) :

- Chargement de véhicules et wagons pour le minerai broyé et tamisé, et le concentré de minerai;
- Transfert par convoyeur pour le minerai broyé et tamisé, et le concentré de minerai;
- Concassage et tamisage pour le minerai extrait et les résidus miniers. [5]

[5] Ceci concerne les unités de concassage et de tamisage qui ne sont pas rattachées à une usine de traitement de minerai qui est plutôt assujettie aux articles correspondantes de la norme sectorielle (voir section 5.1.3).

Les autres activités de manutention du minerai extrait, du minerai concassé et tamisé et du concentré de minerai à l'extérieur (dernier item du tableau 19) peuvent également être assujetties à des mesures d'atténuation (bâtiment fermé, pare-vent, arrosage du matériel) applicables selon les conditions éoliennes du secteur et la localisation du récepteur le plus près par rapport à la source d'émissions.

D'autres mesures d'atténuation permettant de réduire les émissions de poussières à l'atmosphère (mais qui ne sont pas considérées dans la norme sectorielle de l'Ontario) impliquent :

› La réduction des distances de transfert en privilégiant les modes de transfert continu (convoyeur vs. camion);
› Le maintien d'une hauteur de chute minimum lors du chargement ou du déchargement;
› L'installation d'un dispositif permettant de réduire la vitesse de chute lors du chargement ou du déchargement (p.ex. chicanes, déflecteurs, trémie);
› La planification, dans l'ordre du possible, des activités de manutention lors de vent faible.

5.1.3 Unité de traitement de minerai

L'unité de traitement du minerai peut comprendre selon le cas des tamiseurs, des concasseurs, des broyeurs et des unités d'enrichissement du minerai dont l'objectif est de transformer le minerai extrait en concentré de minerai avant l'expédition vers les usines métallurgiques. Les tamiseurs et concasseurs sont les principales causes des émissions de poussières à l'unité de traitement étant donné que les broyeurs et les unités d'enrichissement opèrent généralement dans des conditions humides. Il faut comprendre que les procédés d'enrichissement du minerai broyé peuvent inclure la séparation par épaississement, flottation, filtration, séparation magnétique et/ou séchage thermique qui émettent des poussières à des degrés divers. Ainsi, les procédés humides n'émettent pratiquement pas de poussières, par opposition aux procédés de broyage, tamisage et séchage.

Les émissions de poussières du concassage et du tamisage ne peuvent pas être enrayées à la source. Ainsi, la principale mesure d'atténuation exigée par la norme sectorielle de l'Ontario est d'exploiter l'unité de traitement de minerai dans un bâtiment fermé pourvu d'un dépoussiéreur (Tableau 21).

5.1.4 Sites de disposition des résidus miniers

La gestion de ces résidus est un enjeu important dans la mesure où ceux-ci doivent être disposés sécuritairement tout en limitant au maximum leur impact sur l'environnement. Normalement, trois modes de disposition des résidus miniers sont appliqués, soit l'épandage dans des parcs à résidus miniers; la stabilisation puis réutilisation du résidu minier comme matériel de remblai; et la valorisation des résidus vers un autre procédé, un autre marché, etc.

La disposition des résidus miniers dans les parcs aménagés à cet effet peut s'effectuer en déversant une boue liquide (*slurry*) à partir duquel les matières solides se déposent et forment des crêtes. Les résidus peuvent éventuellement sécher et créer des conditions propices aux émissions de poussières étant donné que le résidu minier de l'unité de traitement contient généralement beaucoup de particules fines aéroportables. Le MOECC demande qu'au moins une des mesures d'atténuation suivantes soit mise en œuvre pour limiter voire éliminer l'interface entre ces particules fines et le vent (Tableau 21), soit en:

- Submergeant les résidus dans un parc à résidus (bassin de sédimentation);
- Recouvrant la surface des résidus par une couche de matériel suffisante pour limiter le potentiel d'érosion éolien (p.ex. bâche, paillis, compost, lait de chaux, revégétalisation, glace, neige, bio-solides, etc.);
- Enrobant la surface des résidus avec un liant chimique ayant comme effet d'agglomérer les grains de poussières et donc de réduire le potentiel d'érosion éolien de la surface;
- Gérant efficacement les points de décharge des résidus afin de maintenir un mouillage constant de la surface.

Le MOECC exige qu'on épande un liant chimique au moins une fois entre le 1er août et le 1er novembre, à moins que les résidus ne soient submergés, ou recouverts d'une bâche ou de végétation.

Le transfert des résidus miniers vers le parc peut s'effectuer par une conduite de boues liquides mais également par convoyeur ou par camion si les résidus ont été déshydratés au préalable. Quoique des mesures d'atténuation, telles que décrites à la section 5.1.2, pour la gestion des émissions de poussières par les convoyeurs ou lors du chargement / déchargement des camions pourraient être appliquées, la norme sectorielle de l'Ontario n'impose aucune de ces mesures pour les résidus miniers déshydratés.

Des mesures d'atténuation spécifiques à l'utilisation du résidu minier comme remblai sont toutefois exigées dans la norme sectorielle de l'Ontario. L'approche préconisée est de maintenir le remblai (résidus miniers stabilisés) à l'abri du vent, en le maintenant à un niveau inférieur à la hauteur de la structure naturelle ou artificielle agissant comme pare-vent autour du site. Dans le cas où le remblai est utilisé pour remplir des cavités, le pare-vent n'a pas à être très élevé. La surface du remblai doit toutefois contenir suffisamment d'humidité en tout temps afin de prévenir l'érosion éolienne.

La disposition des stériles dans un secteur minier peut également causer des projections de poussières à l'atmosphère. Malgré qu'ils soient disposés sous forme de granules ou de roches, les stériles peuvent tout de même contenir une certaine quantité de silt qui pourra être entrainé à l'atmosphère par le vent en absence d'une couche de terre végétale ou d'une autre mesure d'atténuation. Veuillez noter que la norme sectorielle de l'Ontario n'a aucune exigence particulière par rapport à la disposition des stériles.

5.1.5 Puits d'évacuation de l'air des mines souterraines

Les émissions de poussières dans les mines souterraines découlent principalement des activités de dynamitage, de forage, de concassage, et de transport. Celles-ci sont atténuées dans la mine par une série de mesures dédiées à réduire les émissions à la source (p.ex. forage humide, entretien préventif des moteurs diesel) et optimiser la ventilation de l'air souterraine. Le système de ventilation apporte l'air frais de l'extérieur à partir des puits d'entrée vers les zones de travail puis évacue, par le fait même, les contaminants générés par les activités miniers vers les puits de sortie.

La mise en place de l'ensemble de ces mesures dans les mines souterraines découle principalement des obligations réglementaires en matière de santé et sécurité des travailleurs. Dans cette optique, la norme sectorielle de l'Ontario n'impose pas de mesures supplémentaires pour le contrôle des émissions des puits d'évacuation de l'air vicié des mines souterraines. Elle mentionne seulement que toute nouvelle installation devra prendre en considération la direction

des vents dominants et la distance des points récepteurs critiques lors de la conception des puits de d'évacuation de l'air vicié à l'atmosphère.

5.1.6 Mine à ciel ouvert

Hormis le déplacement des équipements mobiles (Section 5.1.7), les émissions de poussières des mines à ciel ouvert proviennent essentiellement de deux activités, soit le forage et le dynamitage. Le forage génère des émissions de poussières à partir du puits de mines dont l'ampleur dépend de plusieurs facteurs (p.ex. vitesse de forage, diamètre du puits, densité rocheuse, disposition du puits, configuration de la foreuse). L'air pressurisé qui est injecté dans le fond du puits pour le nettoyer revient à la surface chargé de poussières.

Deux mesures d'atténuation couramment utilisées par l'industrie sont la suppression humide et l'installation d'un dispositif de captage et de dépoussiérage. Une ou l'autre de ces mesures d'atténuation doit être appliquée selon la norme sectorielle de l'Ontario.

- Suppression humide : Injection d'eau pulvérisée au fond du puits, celle-ci absorbant les poussières générées par le forage au niveau de la mèche. L'air revenant à la surface est donc moins chargé en poussières. Le débit d'eau injecté doit être déterminé selon l'équipement de forage et la roche forée afin d'obtenir une efficacité maximale sans causer de problèmes opérationnels.
- Dispositif de captage et de dépoussiérage : Installation d'une chambre de collecte (ou un équivalent selon le cas) au-dessus de la foreuse guidant l'air chargé de poussière du puits vers un dépoussiéreur installé à proximité (cyclone, filtre à manche ou tout autre type de filtres).

L'autre activité génératrice de poussière, le dynamitage, a comme objectif de fragmenter la roche et le gisement minier. Sans contrôle particulier, le dynamitage du matériel de surface (généralement plus érodé et donc particulaire) provoque des nuages de poussières visibles pouvant se transporter vers les communautés voisines. La distance d'impact de ces nuages est plus ou moins grande selon la disposition de la mine à ciel ouvert et les conditions météorologiques du moment.

D'ailleurs, la norme sectorielle de l'Ontario permet pour les mines à ciel ouvert dont le récepteur le plus près est situé à plus de 2 km de dynamiter le sol lors de conditions météorologiques favorables (Tableau 22). Dans cette optique, la norme interdit de faire du dynamitage si la vitesse maximale de vent prévue dépasse le seuil limite maximal alloué inscrit au Guide des meilleures pratiques préparé par l'exploitant et exigé par la norme. Il doit être démontré dans le Guide que cette vitesse de vent maximale ne causera pas de rejets de poussières au-delà de la mine à ciel ouvert. Le seuil limite est sujet à réduction en fonction de certains critères, dont la concentration de particules mesurée autour du secteur concerné.

Une deuxième mesure d'atténuation exigée pour les mines à ciel ouvert dont le récepteur le plus près est situé à moins de 2 km est d'utiliser des tapis de dynamitage recouvrant la surface dynamitée, agissant comme barrière physique contre les projections de poussières dans l'atmosphère.

5.1.7 Routage

Le routage du matériel dans les zones minières est responsable d'émissions de poussières lors du passage des véhicules. L'ampleur de ces projections sur une période donnée dépend de plusieurs facteurs pouvant être regroupés en trois catégories :

- La disposition et conception de la route;
- La composition du matériel à la surface de la route;
- La gestion des déplacements.

Dans ce contexte, la norme sectorielle de l'Ontario exige une série de mesures pour les tronçons routiers considérés à risque élevé. Un tronçon à risque élevé est défini comme étant une source pouvant contribuer significativement aux émissions de poussières ou autres contaminants et pouvant mener à un impact nuisible pour les récepteurs limitrophes. La norme sectorielle ne précise pas de critères spécifiques permettant d'établir si un tronçon est à haut risque ou pas. Ceci est laissé à la discrétion de l'exploitant qui doit tout de même considérer les facteurs suivants lors de son évaluation :

- La vitesse typique de déplacement des véhicules;
- Le débit de circulation des véhicules et leur poids;
- La distance entre le tronçon routier et le récepteur le plus près;
- Le contenu en silt du tronçon routier;
- La probabilité de plaintes par rapport aux émissions du tronçon.

Dès qu'un tronçon routier est défini comme étant à haut risque, l'exploitant doit suivre les mesures d'atténuation décrites au tableau 23 selon le type de route et le type de matériel transporté. Les tronçons de route qui ne sont pas considérés à risque élevé n'ont pas à suivre d'exigences particulières.

Tableau 18 Mesures d'atténuation – aire de stockage

Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
Bâtiment fermé	› Stockage du matériel dans un silo, entrepôt, dôme fermé ou tout autre abri fermé; › Lorsque qu'un système de ventilation est requis, un système de captage des poussières doit être intégré.	› Minerai extrait: mesure non exigée › Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée pour les installations existantes; mesure exigée pour les nouvelles installations › Concentré de minerai : mesure exigée
Bâtiment partiellement fermé	› Stockage du matériel sous une structure comportant trois murs et un toit (p.ex. demi-dôme).	› Minerai extrait: mesure non exigée › Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée pour les installations existantes; non acceptée pour les nouvelles installations › Concentré de minerai : mesure non acceptée
Humectage des surfaces	› Humectage des surfaces avec de l'eau ou un agent liant la poussière à l'aide d'un système d'arrosage adapté (ex. gicleurs rotatifs); › Maintien d'un registre des périodes d'arrosage incluant les quantités d'eau utilisées par secteur; › Contrôle et vérification du niveau d'humidité dans le matériel (*optionnel*); › Implémentation d'un programme de suivi des conditions météorologiques sur le site permettant de circonscrire les périodes d'arrosage (*optionnel*).	› Minerai extrait: mesure exigée (en combinaison avec une ou deux mesures de mitigation de l'impact du vent) [b, c] › Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée (en combinaison avec une mesure de mitigation de l'impact du vent) pour les installations existantes, seulement si le récepteur le plus près est à plus de 1 km [b, c]; non acceptée pour les nouvelles installations › Concentré de minerai : mesure non acceptée
Brise-vent	› Érection d'un dispositif perturbant l'impact du vent sur l'aire de stockage, incluant les talus naturels et artificiels, la présence ou plantation d'arbres en amont des vents dominants, et l'installation de clôtures.	› Minerai extrait: mesure de mitigation de l'impact du vent pouvant être appliquée en combinaison avec l'humectage des surfaces › Minerai broyé et tamisé : mesure de mitigation de l'impact du vent pouvant être appliquée en combinaison avec l'humectage des surfaces si le récepteur le plus près est à plus de 1 km › Concentré de minerai : mesure non acceptée
Pare-vent	› Érection d'un pare-vent comportant trois murs autour de l'aire de stockage; › La hauteur maximale du matériel stocké doit être inférieure à la hauteur des murs.	› Minerai extrait: mesure de mitigation de l'impact du vent pouvant être appliquée en combinaison avec l'humectage des surfaces › Minerai broyé et tamisé : mesure de mitigation de l'impact du vent pouvant être appliquée en combinaison avec l'humectage des surfaces si le récepteur le plus près est à plus de 1 km › Concentré de minerai : mesure non acceptée

Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
Optimisation de l'aire de stockage et des travaux afférents	› Gestion de l'aire de stockage afin que l'axe longitudinale des piles soit parallèle à la direction du vent dominant du secteur; › Limitation du nombre de piles permettant de réduire le ratio surface érodable / volume de matériel (optionnel); › Minimiser la perturbation des surfaces (optionnel).	› Minerai extrait: mesure de mitigation de l'impact du vent pouvant être appliquée en combinaison avec l'humectage des surfaces › Minerai broyé et tamisé : mesure de mitigation de l'impact du vent pouvant être appliquée en combinaison avec l'humectage des surfaces si le récepteur le plus près est à plus de 1 km › Concentré de minerai : non acceptée
Autre méthode de mitigation de l'impact du vent	› Toute autre méthode permettant de réduire les émissions de poussière moyennant l'acceptation des autorités compétentes. › Un exemple est le recouvrement des surfaces à l'aide de bâches.	› Minerai extrait: mesure de mitigation de l'impact du vent pouvant être appliquée en combinaison avec l'humectage des surfaces › Minerai broyé et tamisé : mesure de mitigation de l'impact du vent pouvant être appliquée en combinaison avec l'humectage des surfaces si le récepteur le plus près est à plus de 1 km › Concentré de minerai : mesure non acceptée

a Exigences de la norme ne tenant pas compte des différents délais alloués pour l'application de certains articles.
b La norme sectorielle n'exige pas l'installation d'un dispositif d'arrosage en particulier. Par contre, elle demande à ce que le matériel soit suffisamment humide pour prévenir les rejets de poussière.
c La norme n'exige pas l'instauration d'une mesure de mitigation de l'impact du vent si du matériel à faible teneur est stocké dans une mine à ciel ouvert.

Tableau 19 Mesures d'atténuation – manutention du matériel minier

Activité	Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
Points de transfert Chargement d'un véhicule ou wagon Note : Le MOECC exige qu'au moins une de ces mesures soit mise en œuvre.	Bâtiment fermé et dépoussiéreur	› Chargement du véhicule ou wagon dans un bâtiment fermé (entrepôt, dôme ou autre); › Un filtre à manche ou un épurateur humide est installé afin de capter les poussières (exigé pour le concentré de minerai mais pas pour le minerai broyé et tamisé).	› Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée pour les nouvelles installations ainsi que les installations existantes dont le récepteur le plus près est à moins de 1 km (autrement non requis) › Concentré de minerai : mesure acceptée
	Système de captage et dépoussiéreur	› Aspiration et captation des poussières autour de l'aire de chargement par un filtre à manche ou un épurateur humide.	› Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée pour les nouvelles installations ainsi que les installations existantes dont le récepteur le plus près est à moins de 1 km (autrement non requis) › Concentré de minerai : mesure non acceptée
	Rideau de contrôle des projections de poussières	› Installation d'un rideau entourant l'aire de chute du matériel; › Applicable lorsque le chargement se fait à l'extérieur d'un bâtiment.	› Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée pour les nouvelles installations ainsi que les installations existantes dont le récepteur le plus près est à moins de 1 km (autrement non requis) › Concentré de minerai : mesure acceptée
	Arrosage du matériel	› Installation d'un dispositif d'arrosage d'eau humectant le matériel suffisamment pour prévenir les émissions de poussières. [b]	› Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée pour les nouvelles installations ainsi que les installations existantes dont le récepteur le plus près est à moins de 1 km (autrement non requis) › Concentré de minerai : mesure non acceptée
Transfert par convoyeur	Bâtiment fermé	› Transfert du matériel sur un convoyeur dans un bâtiment fermé (entrepôt, dôme ou autre).	› Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée › Concentré de minerai : mesure acceptée
	Protection latérale	› Le convoyeur est muni d'un couvercle ou d'un rideau atténuant la projection de poussières.	› Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée › Concentré de minerai : mesure acceptée
	Arrosage du matériel	› Installation d'un dispositif d'arrosage d'eau humectant le matériel suffisamment pour prévenir les émissions de poussières; [b] › L'arrosage n'est pas requis par temps froid afin de prévenir les problèmes de gel.	› Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée pour les installations existantes seulement et dont le récepteur le plus près est à plus de 1 km › Concentré de minerai : mesure non acceptée

Activité	Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
	Arrosage contrôlé du matériel	› Installation d'un dispositif d'arrosage d'eau à débit ajustable opéré en combinaison avec un convoyeur à vitesse variable permettant d'optimiser l'ajout d'eau selon les conditions. › L'arrosage n'est pas requis par temps froid afin de prévenir les problèmes de gel.	› Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée pour toute installation dont le récepteur le plus près est à plus de 1 km › Concentré de minerai : mesure non acceptée
Concassage et tamisage	Bâtiment fermé et dépoussiéreur	› Les activités de concassage et de tamisage sont réalisés à l'intérieur d'un bâtiment fermé; › Un filtre à manche est installé afin de capter les poussières.	› Minerai extrait et résidu minier [c] : mesure exigée dans le cas où la vitesse de vent maximum du secteur est plus élevée que le seuil limite approuvé [d]
	Dépoussiéreur	› Un filtre à manche est installé afin de capter les poussières générées par le concassage et le tamisage, lorsque ceux-ci sont effectués à l'extérieur.	› Minerai extrait et résidu minier [c]: mesure acceptée dans le cas où la vitesse de vent maximum du secteur est plus faible que le seuil limite approuvé [d]
	Pare-vent	› Érection d'un dispositif naturel (talus, arbres) ou artificiel (clôture, mur) perturbant l'impact du vent autour de l'unité de concassage et/ou de tamisage.	› Minerai extrait et résidu minier [c]: mesure acceptée dans le cas où la vitesse de vent maximum du secteur est plus faible que le seuil limite approuvé [d]
	Arrosage du matériel	› Installation d'un dispositif d'arrosage d'eau humectant le minerai extrait ou le résidu minier; › L'arrosage n'est pas requis par temps froid afin de prévenir les problèmes de gel.	› Minerai extrait et résidu minier [c]: mesure acceptée pour les installations existantes seulement dans le cas où la vitesse de vent maximum du secteur est plus faible que le seuil limite approuvé [d]

Activité	Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
Autres activités de manutention à l'extérieur	Bâtiment fermé	› Le pare-vent ou l'arrosage du matériel ne s'appliquent pas si les activités de manutention sont réalisées à l'intérieur d'un bâtiment fermé.	› Minerai extrait : mesure acceptée › Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée › Concentré de minerai : mesure acceptée
	Pare-vent	› Érection d'un dispositif naturel (talus, arbres) ou artificiel (clôture, mur) perturbant l'impact du vent autour de la zone de manutention; › Le pare-vent doit être érigé en fonction de la position des récepteurs sensibles.	› Minerai extrait : mesure non exigée › Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée si le récepteur le plus près est à moins de 1 km › Concentré de minerai : mesure acceptée seulement si la vitesse de vent maximum du secteur est plus élevée que le seuil limite approuvé [d] et que le récepteur le plus près est à moins de 1 km
	Arrosage du matériel	› Installation d'un dispositif d'arrosage d'eau humectant le matériel manipulé; › L'arrosage n'est pas requis par temps froid afin de prévenir les problèmes de gel.	› Minerai extrait : mesure acceptée seulement si la vitesse de vent maximum du secteur est plus élevée que la vitesse de vent de référence [d] › Minerai broyé et tamisé : mesure acceptée seulement si la vitesse de vent maximum du secteur est plus élevée que la vitesse de vent de référence d pour les cas où le récepteur le plus près est à plus de 1 km › Concentré de minerai : mesure non acceptée

a. Exigences de la norme ne tenant pas compte des différents délais alloués pour l'application de certains articles.
b. La norme sectorielle n'exige pas l'installation d'un dispositif d'arrosage en particulier. Par contre, elle demande à ce que le matériel soit suffisamment humide pour prévenir les rejets de poussière.
c. Le concassage et tamisage du résidu minier utilisé comme remblai est concerné par cette section.
d. La vitesse de vent de référence pour le secteur est un paramètre qui doit être établi dans le Guide des meilleures pratiques préparé par l'exploitant et exigé par la norme. Comme critère, il doit être justifié que la vitesse de vent de référence ne causera pas de rejets visibles de poussières au-delà du secteur d'activité.

Tableau 20 Mesures d'atténuation – unité de traitement de minerai

Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
Bâtiment fermé et dépoussiéreur	› Opération à l'intérieur d'un bâtiment fermé (entrepôt, dôme ou autre); › Un filtre à manche ou un épurateur humide est installé afin de capter les poussières générées par les unités de concassage, tamisage et séchage.	› Tamisage et concassage : mesure exigée pour les nouvelles installations et les installations existantes dont le récepteur le plus près est à moins de 1 km › Broyage : mesure exigée pour le broyage par voie sèche seulement; seul un bâtiment fermé est requis pour le broyage par voie humide › Enrichissement du minerai : mesure exigée pour les procédés de filtration, d'épaississement et de séchage (unité existante seulement). Le dépoussiéreur est exigé pour les séchoirs seulement.
Bâtiment fermé et système de ventilation	› Opération à l'intérieur d'un bâtiment fermé (entrepôt, dôme ou autre) relié à un système de ventilation local vers l'extérieur.	› Tamisage et concassage : mesure acceptée pour les installations existantes dont le récepteur le plus près est à plus de 1 km › Broyage : mesure non acceptée › Enrichissement du minerai : mesure non acceptée
a. Exigences de la norme ne tenant pas compte des différents délais alloués pour l'application de certains articles.		

Tableau 21 Mesures d'atténuation – disposition des résidus miniers

Mode de disposition	Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
Parc de résidus	Bassin de sédimentation	› Submersion des résidus miniers dans des bassins aménagés à cet effet.	› Mesure acceptée
	Recouvrement de la surface	› Recouvrement de la surface du parc de résidus d'un matériel permettant de limiter l'érosion éolienne : › revégétalisation, l'épandage de paillis, liant chimique, biosolides (compost, terre végétale) ou lait de chaux, ou recouvrement par des bâches.	› Mesure acceptée › Mesure non exigée si le parc de résidus est déjà recouvert de neige ou de glace
	Épandage d'un liant chimique	› Épandage d'un liant chimique (p.ex. émulsion de bitume) au moins une fois par année entre le 1er aout et 1er novembre, à moins que les résidus ne soient submergés, revégétalisés ou recouverts d'une bâche.	› Mesure acceptée › Peut être appliquée avec ou sans le mouillage de la surface ou l'épandage de paille
Site de remblai	Pare-vent	› Érection d'un pare-vent comportant au moins trois murs ou talus autour du site de remblai; › La hauteur maximale du remblai doit être inférieure à la hauteur des murs ou du talus; › La surface doit être suffisamment humide pour prévenir les émissions de poussières. [b]	› Mesure exigée

a. Exigences de la norme ne tenant pas compte des différents délais alloués pour l'application de certains articles.
b. La norme sectorielle n'exige pas l'installation d'un dispositif d'arrosage en particulier. Par contre, elle demande à ce que le matériel soit suffisamment humide pour prévenir les rejets de poussière.

Tableau 22 Mesures d'atténuation – mine à ciel ouvert

Activité	Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
Dynamitage	Tapis de dynamitage et limitation de la surface de dynamitage	› Recouvrement de la surface par un tapis de dynamitage (pare-éclats) adapté; › Limitation de la surface dynamitée dans l'ordre du possible.	› Mesure exigée si la mine à ciel ouvert est située à moins de 2 km du récepteur le plus près › Mesure acceptée si la mine à ciel ouvert est située à plus de 2 km du récepteur le plus près (limitation de la surface de dynamitage n'est toutefois pas exigée)
	Planification selon les prévisions météorologiques	› Dynamitage réalisé seulement lorsque les prévisions météorologiques indiquent que la vitesse de vent maximum prévue sera inférieure au seuil limite maximum alloué dans le Guide des meilleures pratiques préparé par l'exploitant et exigé par la norme.	› Mesure acceptée seulement si la mine à ciel ouvert est située à plus de 2 km du récepteur le plus près
Forage	Suppression humide	› Introduction d'un jet d'eau pulvérisée dans le fond du puits absorbant les poussières directement dans le puits avant leur évacuation.	› Mesure acceptée
	Dispositif de collecte et de dépoussiérage	› Installation d'une chambre semi-hermétique au-dessus de la foreuse afin de collecter l'air revenant à la surface; › L'air collecté est dirigé vers un système de dépoussiérage (filtre à manche ou cyclone / multi-cyclone).	› Mesure acceptée

a. Exigences de la norme ne tenant pas compte des différents délais alloués pour l'application de certains articles.

Tableau 23 Mesures d'atténuations – routage

Source	Mesure d'atténuation	Descriptif	Norme sectorielle de l'Ontario [a]
Routage	Signalisation adéquate	› Identification (et respect) de la vitesse maximale acceptée sur des panneaux; › Un numéro de téléphone vers le responsable de la mine en lien aux émissions de routes est requis.	› Mesure exigée pour les tronçons de route à haut risque
	Asphaltage	› Revêtement de la route d'une couche d'asphalte ou de béton.	› Mesure exigée seulement lors de la construction d'un nouveau tronçon de route à haut risque dont le récepteur le plus près est situé à moins de 1 km et qui ne sera pas utilisé souvent par des véhicules hors dimension
	Nettoyage des routes pavées	› Nettoyage de la route avec un camion aspirateur ou un camion laveur à une fréquence égale ou supérieure au minimum établi dans le Guide des meilleures pratiques de l'exploitant et exigé par la norme.	› Mesure exigée pour les tronçons de route pavée à haut risque
	Gestion des routes non pavés	› Épandage d'eau ou d'un dépoussiérant chimique à une fréquence égale ou supérieure au minimum établi dans le Guide des meilleures pratiques de l'exploitant et exigé par la norme. › Compactage et nivelage d'un agrégat sur la route à une fréquence également établie par le Guide.	› Mesure exigée pour les tronçons de route non pavée à haut risque
Véhicules	Vitesse de déplacement	› Les véhicules ne doivent pas se déplacer au-delà de la limite permise par la signalisation.	› Mesure exigée pour les tronçons de route à haut risque
	Recouvrement du matériel transporté	› Le matériel transporté par le véhicule doit être couvert lors du transport (p.ex. bâche amovible).	› Mesure exigée pour le transport du concentré de minerai seulement sur les tronçons de route à haut risque › Ne s'applique pas aux chargeurs frontaux
	Humectage	› Le matériel transporté doit être suffisamment humide pour prévenir les rejets de poussière.	› Mesure exigée pour le transport du minerai broyé et tamisé ou du résidu minier seulement sur les tronçons de route à haut risque › Ne s'applique pas aux chargeurs frontaux
	Sous-remplissage	› Le matériel ne doit pas dépasser le niveau supérieur de la benne du véhicule.	› Mesure exigée sur les tronçons de route à haut risque › Ne s'applique pas aux chargeurs frontaux

a. Exigences de la norme ne tenant pas compte des différents délais alloués pour l'application de certains articles.

5.2 Manutention du vrac

Durant le chargement de matériel en vrac, de la poussière contenue dans le matériel peut être libérée dans l'air ambiant lorsque le matériel est transféré dans un contenant (camion, wagon, barge ou navire). L'air chargé de poussières expose les travailleurs aux poussières respirables et créent des problèmes de nuisances. Les facteurs influençant le niveau de libération de poussières sont les suivants :

- Le type de matériel et sa granulométrie;
- Le contenu en humidité du matériel;
- Le taux et le volume de chargement;
- La hauteur de chute du matériel;
- Les facteurs environnementaux tels le vent et la pluie;
- Les caractéristiques physiques du contenant recevant le matériel.

L'institut national pour la sécurité et la santé au travail américain a publié en 2012 un manuel pour le contrôle de la poussière dans le domaine de l'extraction et du traitement des minéraux industriels (NIOSH, 2012). Ce manuel mentionne trois technologies mises en œuvre par l'industrie pour le contrôle des poussières liées au chargement du vrac:

- Trémie de suppression de poussière (Dust Suppression Hopper);
- Becs de chargement rétractables (ou télescopiques);
- Enceinte fermée reliée à un dépoussiéreur.

La trémie de suppression de poussière, une technologie à ce jour non utilisée au Québec et qui n'apparait pas dans les MTD ontariennes ou européennes, est un moyen efficace et peu coûteux de réduire la projection de poussière associée à la manutention du vrac (Figure 22).

Cette technologie est utilisée partout dans le monde pour la manutention en vrac de divers produits poussiéreux tels les produits alimentaires (sel, sucre), les fertilisants (chaux, dolomie, phosphate, soufre, urée, potasse, etc.), le grain (orge, maïs, soya, riz, blé, etc.), les minéraux (kaolin, calcaire, sable, sel de déglaçage, silice, magnésite, carbonate de sodium, etc.) et les granules de bois. L'utilisation de cette technologie pourrait s'avérer efficace pour l'industrie du nickel et potentiellement remplacer certaines des mesures d'atténuation prescrites par la norme sectorielle ontarienne.

Son fonctionnement se fait de la façon suivante. La trémie de suppression de poussière est installée au point de décharge du matériel et est conçue pour que le débit de matériel coule vers le contenant comme une colonne solide de matériel avec une surface d'exposition réduite, ce qui minimise l'entrainement de poussières dans l'air ambiant. La trémie est équipée d'un bouchon central dans sa partie inférieure qui empêche l'écoulement du matériel tant qu'une quantité prédéfinie de matériel contrôlée par un ressort ou un PLC (système de contrôle programmable) ne s'est pas accumulée dans la trémie. Le poids du matériel finit par forcer l'ouverture entre le bouchon et la trémie, ce qui permet l'écoulement du matériel. La charge exercée par le matériel dans la trémie fait en sorte que l'écoulement du matériel ressemble à une colonne solide plutôt qu'à un écoulement de matériel non consolidé en chute libre (Figure 22). Les hauteurs de chargement peuvent atteindre plus de 20 m sans entraînement notable de poussières.

Figure 22 Trémie de suppression de poussière

Source : https://dshsystems.com/the-dsh-difference/

5.3 Recouvrement cellulosique des piles de minerai

La compagnie hollandaise Den Bakker Dustcrusting Technology B.V. (dbd) a développé la technologie Dustcruster ® pour éliminer les émissions de poussières des grandes piles de minerai de fer, charbon, coke, coke de pétrole et autres produits similaires. Le produit consiste en un mélange sélectif de plusieurs types de fibres cellulosiques pressées en granules et livrées en big bags de 800 kg. Les granules sont dissoutes sur place dans de l'eau (ratio 1 kg pour 4 l d'eau) dans un réservoir de mélange. Le liquide est ensuite pulvérisé sur les piles à un taux de 2 à 3 l/m^2 soit par des camions avec des lances de pulvérisation (Figure 23), soit par des systèmes d'arrosage automatique. Le produit pulvérisé forme une croûte blanche biodégradable facile à repérer, du moins par rapport aux endroits non pulvérisés. La croûte du recouvrement cellulosique est dure et ne casse pas sous l'effet du vent, et offre une grande résistance à la pluie et aux gicleurs d'eau. La durée du recouvrement est supérieure à un mois après son application.

Vale (Oman) utilise ce produit pour ses énormes piles de minerais de fer depuis 2017. La température ambiante atteint 50 ^{o}C en été au Sultanat d'Oman. Pour réduire l'érosion éolienne des piles par grand vent et la dispersion de poussières noires autour de son usine, Vale arrosait abondamment les piles avec de l'eau recyclée. L'efficacité de la mesure était faible, en raison de l'assèchement rapide des piles exposées à la chaleur. De plus, l'eau entraînait des particules vers les systèmes de traitement des eaux. Vale estime que les bénéfices de cette application sont appréciables en termes de contrôle et réduction des poussières et de réduction des charges de matières en suspension dirigées aux systèmes de traitement des eaux.

Figure 23 Recouvrement cellulosique de piles de minerais

Source : sites web de dbd ; Vale Sustainability report 2017 (Oman)

5.4 Meilleures techniques disponibles - métallurgie du nickel

L'extraction du nickel de la matière première sur le site d'un complexe métallurgique a le potentiel de générer des émissions de poussières de nickel. Plusieurs activités peuvent prendre place lors la transformation du minerai en matte, ferronickel, oxyde de nickel ou tout autre produit à base de nickel. Celles-ci peuvent être classifiées comme suit :

- Activités de manutention, stockage et transfert;
- Activités de prétraitement;
- Procédés de transformation pyrométallurgique;
- Procédés de transformation hydrométallurgique.

La Commission européenne (IPPC) a publié en 2017 la dernière version de son document relativement aux meilleures techniques applicables pour les industries de métaux non-ferreux dont le nickel fait partie.[6] Ce document agit comme référence à la Décision d'exécution 2016/1032 de la Commission européenne (la Directive) établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD) pour ces industries. Les MTD en matière de gestion énergétique et environnementale, qui incluent les mesures d'atténuation des émissions de poussières, y sont recommandées. Selon la Directive, les MTD doivent servir de référence pour l'établissement des conditions d'autorisation des installations concernées ainsi que des valeurs limites d'émission par les autorités compétentes.

En date de juin 2018, aucun complexe métallurgique primaire n'existe au Québec traitant et produisant des matériaux à base de nickel. Les MTD de la Directive et du document de référence de l'IPPC applicables aux rejets atmosphériques de poussières et de nickel pour l'industrie du nickel seulement sont donc présentées ci-dessous à titre indicatif. Celles-ci doivent normalement être considérées lors du développement et mise en œuvre du système de gestion environnementale de l'installation requis par la Directive (Tableau 23).

5.4.1 Activités de manutention, stockage et transfert

À l'instar des mines, les complexes métallurgiques devraient poursuivre l'application de pratiques et mesures d'atténuations similaires en matière de confinement et d'extraction des émissions de poussières diffuses lors du la manutention, du stockage ou du transfert des matières premières (ex. concentré de minerai), des produits intermédiaires (ex. mattes), et des résidus de procédés (ex. laitier de fourneau). Ainsi, une majorité des mesures d'atténuation identifiées pour la norme sectorielle ontarienne (sections 5.1.1 et 5.1.2) sont également recommandées comme MTD par la Directive et l'IPPC. L'applicabilité de ces MTD (Tableau 23) dépend toutefois des intrants, des extrants et des exigences des procédés en place.

5.4.2 Activités de prétraitement

Le concentré ou toute autre matière première de nickel nécessite normalement un prétraitement avant d'être transformé en produit intermédiaire à base de nickel. L'objectif du prétraitement est de modifier la matière première pour qu'elle ait une forme et/ou un contenu adapté au procédé métallurgique en place permettant d'optimiser le rendement, d'éviter certains problèmes opérationnels et de restreindre la génération de pollution. Selon le cas, le prétraitement peut

[6] European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Best Available Techniques (BAT) Reference Documents for the Non-Ferrous Metals Industries, 2017.

impliquer l'ajout d'agents chimiques (réducteur, fondant ou autre) ainsi qu'une ou plusieurs activités de préparation et d'enrichissement du minerai incluant potentiellement :

- le broyage (et tamisage si requis);
- le séchage;
- le mélangeage;
- le briquetage ou bouletage;
- la calcination ou frittage;
- le récurage ou dégraissage;
- l'incinération ou pyrolyse (pour les matières secondaires).

Les MTD notées dans la Directive se limitent principalement à l'installation d'un dispositif de confinement relié à un filtre à manche pour certaines activités de prétraitement lors de la production de ferroalliage (ferronickel; voir Tableau 23). Lorsqu'applicable et réalisable, le document de référence de l'IPPC évoque également de procéder au prétraitement en milieu humide pour les activités applicables (broyage, mélangeage) ou en imprégnant la matière avec un agent liant (mélangeage, bouletage, briquetage). Ces mesures d'atténuation ne sont toutefois pas considérées comme des MTD par la Commission européenne.

5.4.3 Procédés de transformation pyrométallurgique

Dans le cas présent, la pyrométallurgie est employée principalement pour la production de ferronickel ou de matte, un produit intermédiaire sulfuré. En exemple, la production de ferronickel implique tout d'abord l'utilisation d'un four rotatif électrique dans lequel le minerai est pré-réduit en ferronickel brut (nickel + oxydes de fer) en présence d'un combustible réducteur (charbon, coke ou autre). La réduction du ferronickel brut est complété dans un four à arc immergé suivi, lorsque requis, d'une étape d'affinage dans un convertisseur ou un four à poche afin d'enlever les impuretés tels que le soufre, le silice et le phosphore.

La fusion du minerai et les procédés d'affinage génèrent des émissions de poussières fines et de nickel. La Directive (MTD 171) recommande ainsi d'installer un filtre à manches ou un électrofiltre associé à un filtre à manches traitant les fumées des activités pyrométallurgiques, incluant le chargement du four, la fusion, la conversion, l'affinage thermique et la production de poudre et de briquettes de nickel. Avec ces systèmes en place, des émissions de poussières d'au plus de 2–5 mg/Nm^{3} en moyenne sont attendues en lien à la transformation de minerais sulfurés. Les autres MTD de la Directive relativement aux systèmes de chargement des fours, de captation et traitement des fumées, de soutirage et coulée du métal sont listés au tableau 23.

5.4.4 Procédés de transformation hydrométallurgique

La transformation du minerai ou du matte en produit de nickel peut comporter, selon le type de minerai et la méthode adoptée, des procédés dits hydrométallurgiques qui peuvent ou non être utilisés en combinaison avec un procédé pyrométallurgique. Les procédés hydrométallurgiques déployés dans le domaine du nickel et pouvant être utilisés en combinaison un de l'autre, sont les suivants :

- Lixiviation atmosphérique ou sous pression dans une solution à base de chlorures, de sulfates ou d'ammoniaque sous un couvert gazeux d'oxygène ou de chlore comme oxydant;
- Extraction électrolytique du nickel dissous dans une solution à base de sulfates;
- Extraction électrolytique du nickel dissous dans une solution à base de chlorures;

› Affinage par extraction aux solvants;
› Réduction à l'hydrogène d'une solution de nickel.

Malgré qu'ils soient exploités en milieu humide, ces procédés ont tout de même le potentiel de générer des émissions de nickel compte tenu de la formation de brouillard causé par le mélangeage, la mise en température des solutions et les réactions chimiques. Ainsi, les MTD de la Directive se concentrent soit à isoler la source d'émissions (cuve fermée, etc.), à utiliser des dispositifs limitant la génération de brouillards (mélangeur adapté, couvert de mousse, etc.) ou à installer un dispositif de captation et d'antipollution (Tableau 24).

Tableau 24 MTD de la Directive européenne relatives à l'atténuation des émissions de poussières et de nickel

Activité	Descriptif [a]
Gestion environnementale	› Mettre en place et appliquer un système de gestion environnemental (MTD 1); › Implanter un système de commande des procédés ainsi que des techniques garantissant le déroulement stable des procédés et permettant d'améliorer la performance environnementale globale (MTD 3); › Mettre en œuvre un système de gestion de la maintenance axé en particulier sur les performances des systèmes antipollution (MTD 4); › Dans l'ordre du possible, collecter les émissions diffuses de poussière au plus près de la source et à les traiter (MTD 5); › Établir et mettre en œuvre un plan d'action spécifique, prévoyant le recensement des principales sources d'émissions diffuses de poussières, et le déploiement de mesures et techniques appropriées pour éviter ou réduire les émissions diffuses sur une période déterminée (MTD 6); › Suivi en continu (ou 1 fois par année selon la source) des émissions de poussières et une fois par année pour les émissions de nickel pour certaines sources (MTD 10).
Manutention, stockage et transfert	› Arrosage du matériel suffisamment pour prévenir la formation de poussière; non applicable dans des conditions hivernales ou lorsque le matériel doit demeurer sec vs. les besoins du procédé (MTD 8); › Stockage de la matière pulvérulente dans des bâtiments ou en silos/trémies fermés incluant la collecte et le traitement des émissions au moyen d'un système antipollution (MTD 7); › Stockage à couvert de la matière non pulvérulente et des matières secondaires contenant des composés organiques hydrosolubles (MTD 7); › Stockage en travées couvertes des matières ayant été granulées ou agglomérées (MTD 7); › Si applicable à la matière stockée, utilisation de vaporisateurs d'eau et de brumisateurs avec ou sans additifs tels que le latex pour les matières pulvérulentes (MTD 7); › Gestion de l'aire de stockage afin que l'axe longitudinale des piles soit parallèle à la direction du vent dominant en cas de stockage en plein air (MTD 7); › Érection d'un brise-vent (talus, clôture, plantations) afin de diminuer la vitesse du vent en cas de stockage en plein air (MTD 7); › Limitation du nombre de piles afin de réduire le ratio surface érodable / volume de matériel (MTD 7); › Nettoyage régulier de la zone d'entreposage et humidification à l'eau si requis (MTD 7); › Utilisation de convoyeurs ou de systèmes pneumatiques fermés pour le transfert de la matière pulvérulente, combinés à des systèmes d'extraction et de filtration des émissions de poussières aux différents points de transfert et de décharge (MTD 8);

Activité	Descriptif [a]
Manutention, stockage et transfert	› Convoyeurs capotés pour la manutention des matières non pulvérulentes (MTD 8); › Limitation de la vitesse de déplacement des convoyeurs à bande ouverte (< 3.5 m/s) (MTD 8); › Transfert du matériel fin dans des conteneurs adaptés pour la manutention des matières agglomérées (MTD 8); › Optimisation / rationalisation des activités de transfert de matériel sur le site (réduction au minimum des distances de transport) afin de minimiser les rejets de poussières (MTD 8); › Réduction de la hauteur de chute des bandes transporteuses, des pelles et bennes mécaniques (MTD 8); › Réduction de la vitesse de descente ou de la hauteur de chute libre des matières (MTD 8); › Lavage des véhicules délivrant ou manipulant les matières pulvérulentes (MTD 8); › Campagne de balayage des routes et aires de manutention (MTD 8); › Mise en place de dispositifs d'extraction des poussières aux points de transfert et de déchargement des matières pulvérulentes (MTD 7).
Activités de prétraitement	› Utiliser un filtre à manche en lien aux procédés de broyage, briquetage, boulettage, frittage, dosage, brassage, mélangeage et dégraissage (MTD 154 et 155). Pour la plupart des cas, les poussières collectées sont recyclées; › Utiliser un filtre à manches ou un électrofiltre associé à un filtre à manches lors du séchage du minerai (MTD 171); › Utiliser un électrofiltre pour le traitement des émissions de séchage (IPPC); › Lorsque le procédé le permet, réaliser l'activité de prétraitement avec un matériel humide ou en milieu humide (IPPC); › Lorsque le procédé le permet, ajouter un agent liant ou de revêtement sur le matériel permettant de restreindre la projection de poussières. L'agent liant doit être adapté au matériel (p.ex. mélasse et chaux, ciment, brai de goudron) (IPPC).
Pyrométallurgie	› Effectuer un prétraitement thermique ou mécanique des matières premières secondaires afin de réduire la contamination organique de la charge enfournée (MTD9); › À moins de contraintes spécifiques, utiliser un four fermé doté d'un système de captage et de dépoussiérage approprié, pouvant également capter les poussières lors du transfert de matières pulvérulentes (MTD 9); › À moins de contraintes spécifiques, utiliser une hotte secondaire pour le chargement du four et la coulée (MTD 9); › Optimiser la conception et le fonctionnement des hottes et canalisations pour le captage des fumées dégagées au point de chargement du four ainsi que lors de la coulée du métal chaud, de matte ou de scories, et lors de leurs transferts en goulottes couvertes (MTD 9); › Optimiser le débit des effluents gazeux du four à l'aide d'études informatisées (MTD9); › Utiliser des systèmes de chargement permettant l'ajout des matières premières par petites quantités pour les fours semi-fermés (MTD 9); › Utiliser un système de hotte associé au soutirage et à la coulée d'un ferroalliage (MTD 153); › Utiliser un filtre à manche pour le traitement des fumées lors du soutirage, la coulée et le conditionnement (MTD 154) en lien à la production de ferroalliage; › Utiliser un filtre à manche pour le traitement des fumées des fours à arc immergés ouverts, semi-fermés et fermés (MTD 156/157) en lien à la production de ferroalliage; › Utiliser un épurateur humide avec électrofiltre pour le traitement des fumées des fours à arc immergés fermés si le filtre à manche n'est pas considéré (MTD 157); › Utiliser des convoyeurs fermés lors du chargement des fours (MTD 164); › Utiliser des goulottes couvertes et capotées reliées à un système antipollution lors de la fusion (MTD 165); › Réaliser les opérations en pression négative et utiliser des hottes d'aspiration reliées à un système antipollution pour les procédés de conversion (MTD 166).

Activité	Descriptif [a]
Hydrométallurgie	› Réaliser la lixiviation du minerai dans des réacteurs et décanteurs scellés ou fermés (ou autoclaves sous pression) en utilisant de l'oxygène ou du chlore au lieu de l'air (MTD 167); › Réaliser l'affinage par extraction aux solvants à l'aide d'un mélangeur à faible taux de cisaillement ou à taux de cisaillement élevé pour le mélange solvant / solution aqueuse; et/ou utiliser un dispositif de couverture pour le mélangeur et le séparateur; et/ou utiliser des réservoirs totalement étanches liés à un système antipollution (MTD168); › Lors de l'extraction électrolytique à base de sulfates, utiliser des agents moussants pour recouvrir les cuves d'électrolyse d'une couche stable de mousse permettant de minimiser les émissions de gaz anodique contenant du nickel et un brouillard acide (MTD 169); › Lors de l'extraction électrolytique à base de chlorures, utiliser des billes de polystyrène pour couvrir les cuves d'électrolyse afin de prévenir l'entrainement d'un brouillard acide contenant du nickel à partir des bulles se formant dans la solution électrolytique (MTD 169); › Utiliser un réacteur scellé ou fermé, un décanteur et un autoclave sous pression, un convoyeur de poudre et un silo à produit lors de la production de poudre de nickel ou de briquettes de nickel par un procédé de réduction à l'hydrogène (MTD 170); › Utiliser un épurateur par voie humide pour les émissions provenant d'un procédé de lixiviation à pression atmosphérique ou sous pression. Ce système devrait mener à des émissions de nickel inférieures à 1 mg/Nm3 (MTD 172); › Utilisation d'un filtre à manche pour le traitement des émissions de nickel découlant de l'affinage de la matte de nickel par un procédé au chlorure ferrique et de chlore. Ce système devrait mener à des émissions de nickel inférieures à 1 mg/Nm3 (MTD 173).
a Le numéro de la MTD (meilleure technique disponible) dans la Directive européenne est identifié avec le descriptif le cas échéant. Sinon, la mesure d'atténuation identifiée provient du document de référence de l'IPPC.	

6 Impacts du cadre réglementaire sur l'industrie du nickel

La revue des pratiques mises en œuvre ailleurs dans le monde nous aide à préciser les impacts du cadre réglementaire québécois sur l'industrie du nickel, dont voici nos constats :

- La norme journalière de 14 ng/m^3 dans les PM_{10} du Québec est sans conteste la plus sévère au monde, en ce qui a trait à sa portée et sa force d'application.
- Une norme d'air ambiant est plus sévère et contraignante qu'un critère ou une valeur toxique de référence. L'accumulation de dépassements d'une norme pourrait mener à la cessation des activités d'une installation de nickel.
- Dans les pays occidentaux, nous avons constaté qu'un critère ou une norme nickel, ou encore l'évaluation des concentrations de nickel dans l'air ambiant, étaient rarement, sinon jamais utilisés pour l'évaluation et l'autorisation de nouveaux projets (*greenfield*).
- Le seul nouveau projet où une quantification des concentrations ambiantes de nickel a été faite dans le cadre d'une étude d'impact et d'une autorisation était le projet de nouvelle mine de nickel à Wingellina, en Australie. Cette évaluation a été requise par le département de la santé dans un contexte particulier, soit la présence d'une communauté aborigène avec des problèmes de santé à proximité. Avant même que le projet ne se réalise, il est évident que le critère annuel retenu pour l'évaluation sera difficilement vérifiable (3 ng/m^3) car il se situe près de la limite de quantification du nickel dans les PM_{10}, et que le secteur est particulièrement poussiéreux.
- Les critères ou normes de nickel n'ont pas été récemment utilisés pour des projets d'agrandissement ou de modifications à des installations de nickel existantes en Australie.
- Nous avons eu accès aux rapports sur les données d'air ambiant de Vale, à Sudbury (Ontario), où neuf stations d'air ambiant mesurent les concentrations de nickel dans les particules (9 dans les PST et 5 dans les PM_{10}), à proximité (<200 m) et à plus grande distance de la limite de propriété des installations. Il s'agit de l'endroit où il y a le plus de stations d'air ambiant (PST et PM_{10}, avec analyse de 14 substances, dont 13 métaux incluant le nickel) autour d'une installation de nickel dans le monde. La norme du Québec n'aurait pas été atteinte à Sudbury en 2017 (et de loin avec des concentrations 24-h moyennes allant de 27 à 82 ng/m^3 de nickel dans les PM_{10} selon la station), ni ailleurs dans le monde où sont mesurées les concentrations de nickel dans les PM_{10} à proximité (< 200 m) de la propriété d'une installation de nickel, que ce soit pour un port, une mine, une raffinerie ou autre (UK, Norvège, Nouvelle-Calédonie). Dans la plupart des cas, les concentrations ambiantes de nickel ne sont pas mesurées autour des installations de nickel.
- Les autres juridictions telles l'Ontario se préoccupent des effets sur la santé autant qu'on peut le faire au Québec. Le fait que la majeure partie de la ville de Sudbury, qui compte environ 160 000 habitants soit soumise à des dépassements fréquents de la norme de 14 ng/m^3 dans les PM_{10} retenue par le Québec pour se prémunir des effets aigus nous laissent dubitatifs sur la marge de 'sécurité' entre les effets réels et les effets anticipés. Les concentrations journalières de nickel dans les PM_{10} ont tout de même dépassé la norme du Québec le tiers du temps sur une période de 18 mois (2015-2016) à la station du MOECC au centre-ville de Sudbury, bien que la situation se soit nettement améliorée au fil du temps depuis une décennie. En d'autres mots, une norme trop sévère ne protège pas nécessairement la population si les effets ne sont pas avérés et mènent inutilement à des inquiétudes pour les populations exposées.
- Les états américains se sont tournés vers une approche de gestion de risque, au lieu de s'aligner sur des critères d'air ambiant. Toutefois, si les MTD applicables pour les substances

toxiques sont mises en œuvre par l'industrie, l'autorité se donne la possibilité de 'relaxer' ses critères si l'industrie ne rencontre pas les valeurs toxiques de référence.

- Nous avons aussi constaté des dépassements de la norme québécoise résultant d'industries autres que les mines de nickel, soit les raffineries de pétrole (Montréal), les industries d'alliage (UK), les usines de production d'acier inoxydable (France), la pyrolyse des plastiques usés, etc. Autre cas: la combustion de mazout brut peut augmenter la concentration de nickel au-delà du bruit de fond tout en s'approchant de la norme québécoise (exemple : 11 ng/m^3 à Long Beach).
- Le cas des dépassements de la valeur cible annuelle de 20 ng/m^3 à une station d'échantillonnage (sur 4) dans la communauté de Swansea (UK) a nécessité trois ans d'efforts soutenus et des moyens 'hors normes' pour identifier les sources fautives et réduire les émissions de nickel. Bien que la valeur cible annuelle ait été respectée en 2017, nous constatons des valeurs hebdomadaires dix fois plus élevées. L'industrie fautive est une usine de fabrication d'alliages, ce qui illustre le fait qu'une norme journalière peut affecter d'autres industries que celles du nickel. Dans ce cas, la source problématique est la fonderie, dont le système d'épuration n'est pas assez performant, et pour laquelle une source de contrôle éprouvée n'a pas été à ce jour identifiée.
- Les connaissances évoluent. L'application des MTD par l'Ontario ou la Commission européenne laisse entrevoir des baisses éventuelles des concentrations de nickel dans l'air ambiant à proximité d'une installation de nickel. Toutefois, l'état actuel des connaissances ne permet pas de conclure que l'application de ces MTD permettrait le respect de la norme journalière québécoise à proximité d'une installation de nickel. Il est difficile par exemple d'établir avec confiance le niveau de performance d'une MTD et l'impact réel qu'elle aura sur les concentrations ambiantes, particulièrement lorsque le nickel provient d'une multitude de sources et de causes incluant les émissions diffuses qui sont typiquement difficiles à prédire.
- Dans l'état actuel des connaissances, l'application d'une norme journalière basse (même à 60 ng/m^3) à proximité d'une installation de nickel mènera potentiellement à des dépassements, que l'entreprise ait utilisé ou non les MTD pour réduire ses émissions de nickel.
- Une modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions d'une installation minière comporte son lot d'incertitudes quant aux facteurs d'émission et aux mesures de mitigation (efficacité de réduction) utilisés comme intrants à la modélisation. Les mesures peuvent différer largement des prédictions modélisées, comme nous l'avons constaté pour Vale. En fait, plus le nombre de sources diffuses augmente (particulièrement pour les mines à ciel ouvert), plus l'incertitude est grande quant au respect d'une norme journalière basse à proximité immédiate de l'installation minière pendant l'exploitation (même pour la mine Dumont pour laquelle des efforts de mitigation importants ont été prévus dans le cadre de l'autorisation).
- La concentration initiale de 2 ng/m^3 à considérer dans le cadre d'une modélisation, réduisant la marge de respect de la norme par 14% (2/14), est représentative des mesures de bruit de fond au Québec ainsi qu'ailleurs dans le monde en dehors des zones industrialisées ou des grandes agglomérations.

7 Stratégies à préconiser

Si le Québec tient à conserver son industrie du nickel, plusieurs avenues sont possibles :

- Adopter une norme annuelle similaire aux autres juridictions (Europe, Ontario) de 20 ng/m^3 dans les PM_{10}, qui est moins exigeante que la norme journalière du Québec mais qui demeure quand même contraignante (p.ex. les mesures aux stations de mesure du nickel dans les PM_{10} à Sudbury dépassent cette valeur limite).
- Si le Québec tient à une norme journalière, on doit tenir compte de la possibilité (ou il faut accepter) que les concentrations mesurées soient occasionnellement élevées dans l'année. Une avenue possible est de se diriger vers une norme similaire à la norme canadienne sur les particules fines applicable sur la moyenne triennale du 98^e centile annuel des concentrations journalières, ou à la norme pancanadienne sur le SO_2 applicable sur la moyenne triennale du 99^e centile annuel des concentrations quotidiennes maximales de SO_2 sur une heure.
- Une avenue possible est de se coller aux valeurs limites de l'Ontario en appliquant une norme journalière de 100 ng/m^3 dans les PM_{10}, cinq fois plus élevée que la critère annuel tel que le suggérait l'industrie du nickel et l'association minière du Québec en juin 2017.
- L'approche récente du Michigan (2017) a été de délaisser les critères de courte durée pour le nickel et d'appliquer un niveau limite de risque secondaire annuel correspondant à un risque d'un cas additionnel de cancer par 100 000 individus pour l'approbation de l'ensemble des sources d'une installation.
- L'application des MTD est essentielle à la baisse des concentrations de nickel dans l'air ambiant. Tout ce qui est concentré ou minerai devrait être traité et manipulé à l'intérieur de bâtiments et de convoyeurs fermés. Le matériel extrait de la mine devient minerai une fois broyé.
- L'approche retenue pour le nickel en Ontario et dans les pays européens n'est pas punitive. Le non-respect de la valeur cible ou du critère d'air ambiant ne mènera pas en principe à un avis d'infraction et possiblement une amende, ou à une cessation d'activités en cas de dépassements répétitifs.
- L'approche ontarienne et européenne n'en demeure pas moins contraignante pour l'industrie. L'industrie 'fautive' est tenue de présenter un plan d'action visant à réduire l'impact de ses activités sur les niveaux de nickel dans l'air ambiant. Tant que l'industrie peut démontrer qu'elle entreprend des actions pour réduire ses impacts tout en prenant des mesures n'entraînant pas de coûts disproportionnés, le régulateur en sera satisfait, même si la valeur cible n'est pas atteinte.
- Il faut souligner que les MTD ne constituent pas des mesures entraînant des coûts disproportionnés.
- En Ontario, le principe même de normes d'air ambiant n'est plus applicable du moment que les entreprises (au moins deux) qui disent ne pas être capables techniquement de les respecter demandent au MOECC d'établir une norme sectorielle. Les entreprises s'engagent alors à respecter les MTD spécifiées dans la norme et à établir un plan d'action de la mise en œuvre des MTD. Le suivi des concentrations ambiantes de nickel se poursuit et le MOECC est confiant de constater une évolution future à la baisse des concentrations.

Références bibliographiques

AMEC FOSTER WHEELER. Ambient Air Program Reports. City of Greater Sudbury Ontario. Rapports soumis à Vale Canada Limited Ontario Operations. Rapports trimestriels de 2016 et 2017. Rapport annuel de 2015. Hyperlien Vale Monitoring Qualité de l'air

ANDERSEN, A. 1992. Recent follow-up of nickel refinery workers in Norway and respiratory cancer. In: Nieboer, E. & Nriagu, J.O., ed., Nickel and human health, New York, Wiley. pp. 621–628. Cité dans California OEHHA (2015).

ANDERSEN, A. ET AL., 1996. Exposure to nickel compounds and smoking in relation to incidence of lung and nasal cancer among nickel refinery workers. Occupational and environmental medicine, 53: 708–713. Cité dans California OEHHA (2015).

CALIFORNIA AIR POLLUTION CONTROL OFFICERS ASSOCIATION (CAPCOA). August 2016. Facility Prioritization Guidelines. CAPCOA Air Toxics 'Hot Spots' Program. 20 p. and annexes.

CALIFORNIA OFFICE OF ENVIRONMENTAL HEALTH HAZARD ASSESSMENT (OEHHA), February 2015. Risk Assessment Guidelines. Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments.

CALIFORNIA OEHHA, February 2012. Nickel and Nickel Compounds Reference Exposure Levels (REL). Final report. 194 p.

CLEAN AIR SUDBURY, June 2016. Report #3. Air Quality Trends in Greater Sudbury 2008-2014. 96 p.

COMMISSION EUROPÉENNE, 13 juin 2016. Décision d'exécution (UE) 2016/1032 de la Commission du 13 juin 2016 établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD), au titre de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil, dans l'industrie des métaux non ferreux. Publié dans le Journal officiel de l'Union européenne le 30 juin 2016. pp. L174/ 32 à 106.

COMMISSION EUROPÉENNE, 26 janvier 2005. Directive no 2004/107/CE du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.

CUSANO GIANLUCA, M. R. Gonzalo, F. Farrell, R. Remus, S. Roudier, L. D.Sancho; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the main Non-Ferrous Metals Industries, EUR 28648, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU – Integrated Pollution Prevention and Control. 1178 p.

DEPA, M. AND DR. K. WILLIAMS, October 13, 2014. Methods for Health Effects Screening of Big Bay metals Air Monitoring Data. Michigan Department of Environmental Quality, air Quality Division. 6 p.

ESPERANCE PORTS SEA & LAND, 2011. Annual Report (period 2010-2011). 65 p.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2017. Air quality in Europe – 2017 report. EEA Report no 13/2017. 74 p.

FOTH & VAN DYKE AND ASSOCIATES, INC. December 2005. Eagle Project. Michigan Air Use Permit – Permit to Install. Prepared for Kennecott Eagle Minerals Company. 30 p. and 9 appendices

FOTH & VAN DYKE AND ASSOCIATES, INC. February 2006. Eagle Project. Mining Permit Application. Volume II. Environmental Impact Assessment. Prepared for Kennecott Eagle Minerals Company. 70 p. and 9 appendices.

GLENCORE. 31 March 2017. Sudbury Integrated Nickel Operations. 2016 Annual Report on the Action Plans. Site Specific Standard Approvals : Nickel (annual) #501-15-rv0.

GRAHAM JA, MILLER FJ, DANIELS MJ, PAYNE EA AND GARDNER DE, 1978. Influence of cadmium, nickel and chromium on primary immunity in mice. Environ Res 16:77-87.

KWINANA INDUSTRIES COUNCIL. Air Quality Management in Kwinana. Fact sheet on heavy metals. 7 p.

MDDELCC, 7 juin 2017. Historique de la révision de la norme de nickel. Par la Direction des avis et des expertises. 7 p.

MDDELCC, Février 2017. Guide d'instructions - Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques - Projets miniers. 94 p.

NILU (Norwegian Institute for Air Research), 23 novembre 2018. Communication par courriel sur les données historiques de nickel dans les PM_{10}.

NORWEGIAN ENVIRONMENT AGENCY, May 2017. Russian-Norwegian ambient air monitoring in the border areas. Updated joint report 2010-2015. Report M-761-2017. 37 p.

NSW EPA, January 2017. Approved Methods for the Modelling and Assessment of Air Pollutant in New South Wales. 52 p.

NTP, 1994. Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Nickel Subsulfide in F344/N Rats and B6C3F1 Mice. NTP TR 453, NIH Publication No. 94- 3369. National Toxicology Program (NTP). U.S. Department of Health and Human Services.

ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE (MOECC). 20 April 2018. Air Quality in Ontario – 2016 Report. 53 p. https://www.ontario.ca/document/air-quality-ontario-2016-report

ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE (MOECC). March 2018. Procedure for Preparing an Emission Summary and Dispersion Modelling Report. Guidance for Emission Summary and Dispersion Modelling Reports under Ontario Regulation 419/05 Air Pollution – Local Air Quality. Guideline A-10. Version 4.1. 116 p.

ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE (MOECC). February 2017. Air Dispersion Modelling Guideline in Ontario. Guidance for demonstrating compliance with the air dispersion requirements set out in Ontario Regulation 419/05 Air Pollution – Local Air Quality. Guideline A-11. Version 3.0. 158 p.

ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE (MOECC). February 2017. Guideline for the Implementation of Air Standards in Ontario. Guidance to Support the MOECC's Risk Framework for Air Standards, Site-Specific and Technical Standards and Upper Risk Thresholds under Ontario Regulation 419/05 Air Pollution – Local Air Quality (as amended). Guideline A-12. Version 3.0. 84 p.

ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE (MOECC). March 2018. Rationale report for the Development of an Ontario Technical Standard to Manage Air Pollution for the Mining Sites (Mining Sites- Industry Standard). Non paginé.

ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE (MOECC). 22 March 2018. Technical Standards to Manage Air Pollution. Version 6.0. 344 p.

QUEENSLAND GOVERNMENT. 15 January 2009. Report evaluating the Environmental Impact Statement pursuant to Section 35 of the *State Development and Public Works Organization Act 1971 (Qld)*. Coordinator-General's report. Gladstone Nickel Project. 119 p.

QUEENSLAND GOVERNMENT. 15 January 2009. Schedules of Conditions. Coordinator-General's report. Gladstone Nickel Project. Pages multiples.

RAMBOLL, March 2017. Nickel West Mount Keith Satellite Operations – Particulate Assessment. Intended for BHP Billiton Nickel West Pty Ltd. 27 p. et figures.

RWDI AIR INC. Vale Annual Ambiant Air Quality Monitoring Report. Particulate and Metals Air Monitoring Program. Rapports annuels de 2011 à 2015.

SANEXEN SERVICES ENVIRONNEMENTAUX INC. Mai 2014. Évaluation des risques toxicologiques pour la santé humaine posés par la dispersion des émissions atmosphériques de particules, gaz et métaux. Projet d'exploitation minière Dumont (Launay, Québec). Pour Royal Nickel Corporation. 84 p. et annexes.

SCAL-AIR, mars 2015. Mesure des métaux lourds dans l'air ambient à Nouméa 2012-2013. 96 p.

SINCLAIR KNIGHT MERTZ, 19 December 2007. Historic Air Quality Monitoring Data Review and Proposed Air Monitoring Plan. Report for the Esperance Port Authority. Perth, Western Australia. 72 p.

SINCLAIR KNIGHT MERTZ, Annual Ambient Air Quality Monitoring Report. For Esperance Ports Sea & Land. Rapports annuels de 2009 à 2017.

TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENT QUALITY (TCEQ), 1 June 2011. Development Support Document. Nickel and Inorganic Nickel Compounds. Prepared by D.D. McGrant, J.T Haney Jr. and R.L. Grant, Toxicology Division. Revised 26 July 2017. 100 p.

TODOROSKI AIR SCIENCES, 9 March 2017. Air Quality Impact Assessment. Waste Plastic to Fuel Facility, Hume Act. Prepared for Foy Group Limited.36 p.

UK DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS, Nov. 2017. Report on measures for 2015 exceedance of the Target Value for Nickel in Swansea Urban agglomeration zone (UK0027). 43 p.

UK DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS, Sept. 2017. Air Pollution in the UK 2016. 121 p.

URS AUSTRALIA PTY LTD, 2007. Gladstone Nickel Project. Environmental Impact Statement. Prepared for Gladstone Pacific Nickel Ltd.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY, 2018. Mineral Commodity Summaries 2018. 200 p.

VALE. Sustanaibility Report 2017. p 149 of 179: Cellulose cover to minimize impacts particle emissions.

VALE, 22 September 2017. Action plan Status Update: Copper Cliff Smelter. Site-Specific Standard Approvals for Nickel, # 501-11-rv0, 502-11-rv0. 6 p. Hyperlien: 'Vale Monitoring Qualité de l'air'

VALE, 29 March 2018. Action Plan Status Update: Copper Cliff Smelter. Site-Specific Standard Approvals for Nickel # 502-11-rv0. 6 p.

VALE, 28 March 2017. 2016 Environment Management System & Community Engagement Report. 19 p.

VICTORY NICKEL INC., 2010. Minago Project, Environment Act Proposal, Environmental Impact Statement (EIS). EIS Submitted to Manitoba Conservation, Approvals Branch, April 30, 2010.

VICTORY NICKEL, 2013. Minago Project Manitoba. Environmental Impact Statement. Environment Act Proposal to Amend environmental act Licence No 2981 to include the proposed tailings and waste rock management facility. EIS Submitted to Manitoba Conservation, Approvals Branch, December 08, 2013.

WESTERN AUSTRALIA (WA), 2018. Department of Environment and Conservation (DEC). Licence for Prescribed Premises – Licence # L5099/1974/12 initially issued to Southern Ports Authority on 6 January 2009. Amended on 23 February 2018. 26 p.

WA DEC, 2018. Licence for Prescribed Premises – Licence # L5099/1974/12. Review of Existing Premises. Final Report dated 23 February 2018. 52 p. and attachments.

WA ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY, November 2018. Report and recommendations of the Environmental Protection Authority. Report 1625. 41 p.

WA ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY, June 2005. Guidance Statement No 3 – Separation distance between industrial and sensitive land uses.

WORLD HEALTH ORGANISATION, 2000. Air Quality Guidelines for Europe. 2nd edition. WHO Regional Office for Europe. Copenhague, Danemark. Section 6.10 – Nickel. 15 p.

Sites Webs consultés - Hyperliens

Ville de Montréal - Environnement - Suivi de la qualité de l'air

ONTARIO :
https://www.ontario.ca/document/operations-manual-air-quality-monitoring-ontario-0

https://www.ontario.ca/page/rules-air-quality-and-pollution

Registre environnemental MOECC :
Après 2016 : https://ero.ontario.ca/fr

Avant 2016 : Ancien registre MOECC

Règlement 050419 : https://www.ontario.ca/laws/regulation/050419

https://www.ontario.ca/fr/page/regles-sur-la-qualite-et-la-pollution-de-lair

Vale – rapports des données d'air ambiant :
Vale Sudbury Air ambiant

Localisation des raffineries et mines de nickel dans le monde :
https://www.industryabout.com/world-nickel-mining-map

Pays ayant ratifié UNECE – Métaux lourds : UNECE_Métaux_lourds_1998

Normes d'air ambiant dans le monde http://airlex.web.ua.pt/

Données d'air ambiant en Europe et dans le monde (stations background)
http://ebas.nilu.no/Default.aspx

Données d'air ambiant UK : https://uk-air.defra.gov.uk/

Rapports sur les dépassements de la valeur cible de nickel :
https://www.gov.uk/government/publications

Australie – Port Esperance, Clean Teq
Port Esperance WA

Clean Teq NSW Planning & Environment

Australie –Wingellina, Ravensthorpe, Nova Nickel et Mt Keith

http://www.epa.wa.gov.au/

Commission européenne – BAT – Métaux non ferreux (2016) :

Décision CE 2016/1032 - MTD - Métaux non ferreux

IPPC BREF Métaux non ferreux

Norvège – Critères de qualité de l'air
https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/metaller/metaller---luftkvalitetskriterier/

Manitoba : Mine de Victory Nickel :
http://www.gov.mb.ca/sd/eal/registries/5463.1minago/index.html - Mise à jour de 2013

http://www.gov.mb.ca/sd/eal/registries/5463minago/index.html - Étude d'impact initiale de 2010

Michigan – Eagle Mine : Michigan - DEQ - NON-FERROUS METALLIC MINING

https://gis.lic.wisc.edu/wwwlicgf/glifwc/Kennecott/PermitAp2/

Rapports de monitoring de la mIne Eagle http://swpcemp.org/resources/

Valeurs toxiques de référence du nickel : DEQ IRSL - SRSL - Annuel

Technologie Dustcruster ® : https://www.denbakker.nl/nl/dbd-global/dustcruster-technology.html

Annexe A

Ni dans les PST au Complexe Minier Expo Canadian Royalties

Canadian Royalties – Ni dans les PST au Complexe Minier Expo

L'entreprise Nunavik Nickel (Canadian Royalties) effectue un suivi de la qualité de l'air sur les PST et certains métaux, dont le nickel, à proximité du complexe minier Expo. La station de qualité de l'air est située à environ 300 m de la route ceinturant le complexe et à 900 m à l'est de la fosse de la mine. Les données du nickel dans les PST du suivi de 2016 ont été analysées. Les prélèvements ont été effectués sur une base hebdomadaire, entre le 1er mai et le 6 novembre 2016, représentant au total 28 prélèvements. Le tableau 1 donne les statistiques pour les données de la station. Si on fait abstraction de la valeur maximale qui teinte fortement la moyenne, on peut se reporter à la valeur médiane du nickel dans les PST de 0,024 µg/m^3, comme valeur plus représentative des concentrations moyennes réellement observées le reste de la période de mesures.

Tableau 25 Statistiques du nickel dans les PST – Station du complexe Expo – Nunavik Nickel

Année	# de valeurs	Moyenne µg/m^3	C50 µg/m^3	C75 µg/m^3	C90 µg/m^3	C95 µg/m^3	C98 µg/m^3	Maximum µg/m^3
2016	28	0,242	0,024	0,106	0,445	0,706	NA	4,121
2010/2011[1]	27/45	0,096	0,013/0,022	0,045/0,063	0,167	0,29	-	1,67

1 Données de 2010/2011 de la station du Vieux-Limoilou (MELCC). Une valeur représente la donnée la plus élevée de 2010-2011.

La comparaison des valeurs du complexe minier avec les données de nickel dans les PST des stations actives du MDDELCC (Tableau 2, rapport principal) montre que celles-ci sont environ le double des concentrations observées en 2010 ou 2011 à la station du Vieux-Limoilou, que ce soit pour la moyenne, la médiane, les centiles et le maximum. Les années 2010 et 2011 représentent les valeurs les plus élevées de l'historique des données analysées de nickel dans les PST de l'ensemble des stations du MDDELCC. L'entreprise attribue la cause la plus probable des concentrations de nickel à la circulation des camions de minerai. L'entreprise mentionne aussi que de façon générale, de la poussière est générée lors de la manipulation du minerai à partir de la halde vers le concasseur, ce qui est également selon l'expérience en Ontario, une source de nickel dans les concentrations ambiantes de PM_{10} autour des complexes de nickel.

Si on fait l'hypothèse que les données de nickel dans les PM_{10} et les PST du complexe minier Expo se comportent comme celles recueillies autour du complexe minier de Vale à Sudbury, on peut s'attendre à ce que les concentrations de nickel dans les PM_{10} soient en moyenne environ 60% des concentrations de nickel dans les PST. Si cette proportion est juste, alors la norme québécoise de 0,014 µg/m^3 serait dépassée environ 50% du temps à l'emplacement de la station près du complexe minier d'Expo. C'est d'ailleurs l'ordre de grandeur des dépassements de la norme québécoise observés à quatre des cinq stations de Vale en 2017 (Tableau 13 du rapport principal). La médiane des valeurs du complexe Expo est également similaire aux médianes les plus élevées des stations de Vale. Notons que les valeurs des centiles 75%, 90% et 95%, de même que le maximum à la station Expo sont plus élevées qu'aux stations de Vale, mais les valeurs des centiles sont possiblement biaisées par le nombre plus faible de données (50% d'une année normale) et par l'absence de mesures en hiver, qui pourraient être plus faibles.

Au cours de la période de mesure, deux dépassements de la norme de PM totaux ont été observés les 29 mai et 26 juin 2016, qui pourraient s'expliquer par une réorganisation de la halde à minerai impliquant des activités ponctuelles de manipulation et de déplacement de matériel de différentes piles de minerai, effectuées entre le 25 mai et le 26 juin.

Les concentrations de particules fines ($PM_{2.5}$) mesurées à la station de l'entreprise sont très faibles, avec un maximum observé de 16,3 µg/m^3 en mars 2016 (Figure 22.1 du rapport de suivi, reproduite ci-après). Au cours de l'été 2016, les moyennes quotidiennes ont varié entre 2,3 et 10 µg/m^3. Le faible effet de la manipulation des piles de minerai en juin 2016 sur les niveaux de concentrations de particules fines est observable, avec un plateau de concentrations au-delà de 7 µg/m^3 d'une durée inférieure à une semaine et un maximum quotidien observé de 9 µg/m^3.

La valeur du 98^{e} centile (7^{e} valeur la plus élevée sur l'historique de 2016) est de 9 µg/m^3, nettement sous la valeur des moyennes des 98^{e} centiles des années 2014 à 2016 mesurées à la station du MOECC (15 µg/m^3) de Sudbury (Figure 12, rapport principal), ce qui démontre qu'il y a moins de particules fines dans l'air ambiant dans le grand nord, près du complexe minier, que dans la plupart des centres urbains de l'Ontario. La moyenne semble être de visu autour de 5 µg/m^3, similaire à la moyenne sur 3 ans mesurée à Sudbury de 6 µg/m^3 (Figure 13, rapport principal).

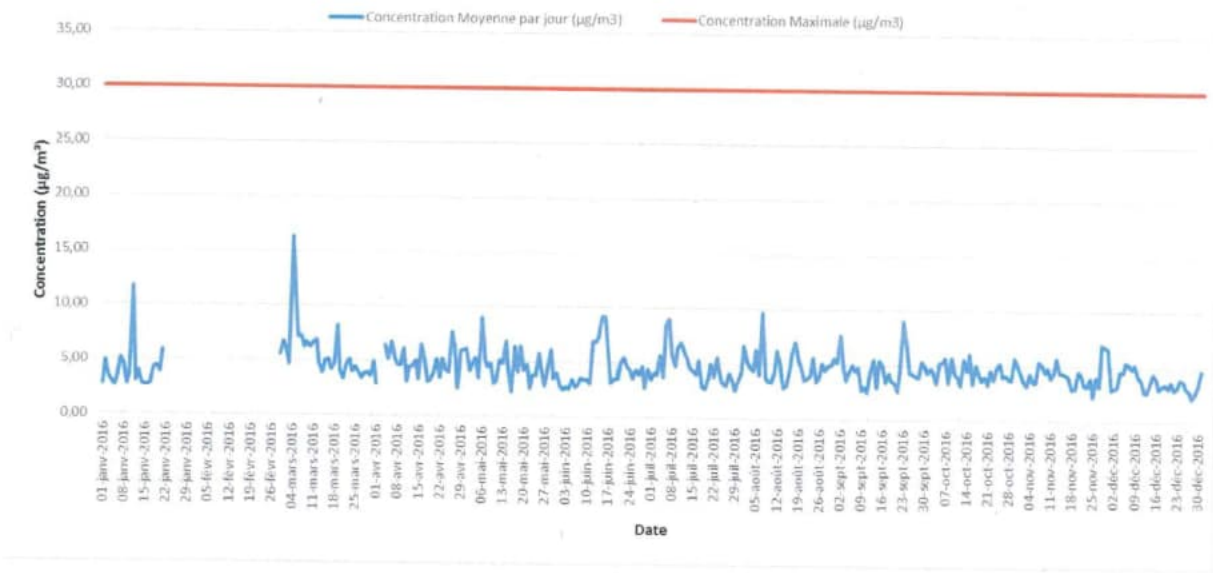


Figure 22.1 Concentrations moyennes quotidiennes de PM2.5 calculées dans l'air ambiant sur le site minier EXPO entre le 1 janvier et le 31 décembre 2016

Malgré la conclusion du rapport de suivi d'Expo relative aux dépassements des valeurs limites, le MDDELCC a informé l'entreprise de l'assouplissement relatif à la section 4.3 du Guide d'instructions pour la modélisation des projets miniers, à l'effet que les résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique doivent être analysés aux récepteurs sensibles au-delà de 300m des installations. Ainsi, en concordance avec cette orientation du guide, le respect des normes et critères de qualité de l'atmosphère ne s'applique pas à la localisation de la station d'air ambiant du complexe minier Expo.

En somme, les valeurs de nickel dans les PST mesurées à proximité du complexe de nickel Expo sont similaires à celles mesurées à proximité du complexe de Vale à Sudbury, si le ratio moyen de 60% entre Ni PM_{10} / Ni PST s'avère le même que Vale. Il faut s'attendre à des dépassements de la norme québécoise (0,014 µg/m^3) environ 50% du temps à proximité d'un complexe de nickel.

SNC·LAVALIN

360, Saint-Jacques, 16e étage
Montréal (Québec) H2Y 1P5
514-393-1000 - 514392-4758
www.snclavalin.com

Revue toxicologique de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel pour le volet air ambiant

Rapport scientifique

Décembre 2018

Déposé à :

Monsieur Richard Masse
Directeur général du développement des industries
Ministère de l'Économie, de la science et de l'innovation
710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4

Monsieur François Houde
Directeur général
Ministère l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boul. René-Lévesque Est, 7e étage
Québec (Québec) G1R 5V7

Responsable scientifique

Michèle Bouchard, PhD
Professeure titulaire et directrice

Membres de l'équipe de rédaction

Jonathan Côté, MSc
Agent de recherche

Denis Dieme, PhD
Agent de recherche

Michèle Bouchard, PhD
Professeure titulaire et directrice

Département de santé environnementale et santé au travail
École de santé publique
Université de Montréal
C.P. 6128, Succursale Centre-Ville
Montréal, Québec, H3C 3J7

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES III

LISTE DES TABLEAUX VI

LISTE DES FIGURES VII

1. PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DU NICKEL ET SES COMPOSÉS 1

1.1 Le nickel élémentaire et ses propriétés physico-chimiques 1

1.2 Les différents composés du nickel et leurs formules chimiques 2

1.2.1 Les composés inorganiques 2

1.2.2 Les composés organiques 2

2. LES SOURCES DE NICKEL ET SES COMPOSÉS DANS L'AIR, L'EAU ET LE SOL 5

3. UTILISATION DES COMPOSÉS DE NICKEL 6

3.1 Nickel métallique et alliages de nickel 6

3.2 Les oxydes et hydroxydes de nickel 6

3.3 Les sulfures de nickel 6

3.4 Les sels de nickel 6

3.5 Autres composés de nickel 7

4. VOIES D'EXPOSITION ET D'ABSORPTION DU NICKEL ET CONTRIBUTION RELATIVE DES SOURCES 8

4.1 Exposition en milieu professionnel 8

4.2 Exposition de la population générale 8

5. TOXICOCINÉTIQUE DES PARTICULES INHALABLES ET RESPIRABLES AU NIVEAU DES VOIES RESPIRATOIRES 9

6. ÉTUDES TOXICOLOGIQUES ET ÉPIDÉMIOLOGIQUES SUR LES EFFETS SANITAIRES 11

6.1 Inhalation 11

6.1.1 Effets reliés à une exposition aiguë 11

6.1.1.1 Données humaines 11

6.1.1.2 Données animales 14

6.1.2 Effets reliés à une exposition chronique et sous-chronique 23

6.1.2.1 Données humaines 23

6.1.2.2 Données animales 27

6.2 Effets suite à une exposition indirecte ou autre que l'inhalation 35

6.2.1 Données humaines 35

6.2.2 Données animales 37

6.3 Cancer 39
6.3.1 Données humaines 39
6.3.2 Données animales 40
6.3.2.1 Inductions de tumeurs 40
6.3.2.2 Altération des gènes 41
6.4 Autres effets 41
6.4.1 Effet sur le système reproducteur et sur le développement 41

7. APPROCHE GÉNÉRALE UTILISÉE PAR LES ORGANISMES GOUVERNEMENTAUX ET GROUPES DE TRAVAIL POUR L'ÉTABLISSEMENT DE DOSES OU CONCENTRATIONS DE RÉFÉRENCE 43

8. DESCRIPTEURS DE TOXICITÉ DÉVELOPPÉS PAR DES ORGANISMES RECONNUS (RFD, RFC, RISQUE UNITAIRE, MRL) 46
8.1 Dose de référence (« Reference dose » ou RfD) établie par le U.S. EPA 46
8.2 Concentration de référence (« Reference concentration » ou RfD) établie par le U.S. EPA 46
8.3 Risque unitaire établi par le U.S. EPA 47
8.4 Risque unitaire établi par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) 48
8.5 « Minimal Risk Levels » (MRLs) proposées par ATSDR 49
8.5.1 « Minimal Risk Level » (MRL) pour une exposition aiguë 49
8.5.2 « Minimal Risk Level » (MRL) pour une exposition de durée intermédiaire 49
8.5.3 « Minimal Risk Level » (MRL) pour une exposition chronique 50

9. DÉTERMINATION DE VALEURS GUIDES (CRITÈRES DE QUALITÉ DE L'AIR) OU NORMES POUR LE NICKEL DANS L'AIR PAR DIFFÉRENTS ORGANISMES GOUVERNEMENTAUX ET GROUPES DE TRAVAIL 52
9.1 Valeurs guides (critères de qualité de l'air) ou normes de nickel dans l'air proposées ou établies pour la population générale 52
9.1.1 Norme du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec 52
9.1.2 « Reference Exposure Levels » (RELs) pour la Californie (OEHHA) 53
9.1.3 Critères de qualité de l'air (CQAA) ou « Ambient Air Quality Criteria » (AAQCs) pour l'Ontario 58
9.1.4 Valeurs limites dans l'air ambiant établies par l'Union européenne 60
9.1.5 Critère de qualité de l'air pour la France 62
9.1.6 Critère de qualité de l'air pour la Norvège 62
9.1.7 Critère de qualité de l'air pour l'Australie 62
9.2 Valeurs guides proposées pour le milieu de travail 63
9.2.1 Commission européenne 63
9.2.2 Valeurs guides proposées par NiPERA 63
9.2.2.1 Méthode de calcul du NiPERA pour déterminer une valeur guide 64
9.2.2.2 Études utilisées par NiPERA pour l'établissement des POD 70

9.2.2.3 Demie-vie de rétention utilisée par NiPERA dans leur calcul de la dose retenue dans les poumons 71
9.2.2.4 Valeurs guides proposées par NiPERA et décrites comme étant des « Derived No-effect levels » (DNEL).....73

10. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS 76
10.1. Conclusions sur les mécanismes toxicologiques principaux.....76
10.2. Synthèse des normes et valeurs guides du nickel dans l'air ambiant établies par différentes juridictions 77

11. REFERENCES 86

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Identification du nickel (tiré de ECHA, 2018) 1

Tableau 2. Propriétés physiques et chimiques 1

Tableau 3. Noms chimiques (CAS), synonymes et formules moléculaires ou compositions de nickel, d'alliage de nickel et de composés de nickel sélectionnés (traduit de IARC (2012)) 3

Tableau 4 – Sommaire des données de toxicité aiguë du nickel chez l'humain (adapté de OEHHA, 2012) 13

Tableau 5 – Sommaire des données de toxicité aiguë du nickel chez l'animal (adapté de OEHHA, 2012) 19

Tableau 6 – Sommaire de données de toxicité chronique du nickel chez l'humain (adapté de OEHHA, 2012) 26

Tableau 7 – Sommaire de données de toxicité chronique du nickel chez l'animal (adapté de OEHHA, 2012) 32

Tableau 8 – Sommaire de données sur les effets sur le système reproducteur et sur le développement chez l'humain (adapté de OEHHA, 2012) 42

Tableau 9 - Paramètres physico-chimiques, physiologiques et toxicocinétiques utilisés dans le modèle MPPD utilisé par NiPERA (traduit de NiPERA 2017) 65

Tableau 10 - Grosseurs des particules utilisées dans le modèle MPPD développé par NiPERA pour simuler les données animales (traduit de NiPERA 2017) 66

Tableau 11 - Grosseurs des particules utilisées dans le modèle MPPD développé par NiPERA pour simuler les données chez les travailleurs (traduit de NiPERA 2017) 66

Tableau 12 – Valeurs de HEC pour les particules respirables de sulfate de nickel, sous-sulfure de nickel, oxyde de nickel et nickel métallique, telles que calculées par NiPERA à l'aide du modèle MPPD (tiré de NiPERA 2017) 69

Tableau 13 – Valeurs de HEC pour les particules inhalables de sulfate de nickel, sous-sulfure de nickel, oxyde de nickel et nickel métalliques, telles que calculées par NiPERA à l'aide du modèle MPPD (tiré de NiPERA 2017) 70

Tableau 14 - Valeurs guides pour le nickel respirable et inhalable proposées par NiPERA (« Derived No-effect levels » (DNEL)) à partir d'études animales sur la toxicité respiratoire (tiré de NiPERA 2017) 74

Tableau 15. Synthèse des normes et critères de qualité de l'air dans différents pays et méthode d'établissement 82

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Représentation de la déposition des particules dans les voies respiratoires déterminée par le modèle MPPD développé par NiPERA chez l'humain (tiré de NiPERA 2017) 67

Figure 2 - Représentation de la déposition des particules dans les voies respiratoires déterminée par le modèle MPPD développé par NiPERA chez le rat (tiré de NiPERA 2017) 68

1. PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DU NICKEL ET SES COMPOSÉS

1.1 Le nickel élémentaire et ses propriétés physico-chimiques

Le nickel est un métal de transition appartenant au groupe VIIIB du tableau de classification périodique (nombre atomique, 28; masse atomique, 58,69). Il est classé tout près du fer, du cobalt et du cuivre qui présentent des propriétés chimiques similaires. C'est un métal ductile, dur, blanc argenté et l'un des rares métaux élémentaires magnétiques à la température ambiante. Dans la nature, le nickel se présente sous forme de cinq principaux isotopes stables (^{58}Ni, ^{60}Ni, ^{61}Ni, ^{62}Ni et ^{64}Ni), ayant donc le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons. Dix-neuf autres isotopes instables ont également été identifiés. Le nickel peut avoir plusieurs états d'oxydation, comme -1, 0, +1, +2, +3 et +4. La forme divalente, soit le Ni^{+2} (Ni II), demeure majoritairement présente dans les conditions environnementales normales, formant aussi bien des composés inorganiques qu'organiques. La forme trivalente Ni^{3+} peut être générée lors des réactions d'oxydoréduction au niveau cellulaire (Tundermann et al., 2005; Huang et al 1993). Contrairement au fer et au cobalt, le nickel est stable dans l'eau à l'état d'oxydation +2 (Kerfoot, 2002).

L'identification et les propriétés physico-chimiques du nickel sont décrites dans les Tableau 1 et Tableau 2.

Tableau 1. Identification du nickel (tiré de ECHA, 2018)

Nom de la substance	Numéro CAS	Description	Formule moléculaire (masse atomique)
Nickel	7440-02-0	Blanc argenté, dur, métal ductile	Ni (58,69)

Tableau 2. Propriétés physiques et chimiques

Nom de la substance	État physique	Densité [g/cm³ à 20°C]	Point de fusion [°C]	Solubilité dans l'eau
Nickel	Métal solide en poudre	8.9	1455	Insoluble

1.2 Les différents composés du nickel et leurs formules chimiques

Les composés de nickel sont nombreux et variés. Le Tableau 3 (IARC, 2012) présente les synonymes, les noms commerciaux et la formule moléculaire du nickel, les alliages de nickel et certains composés de nickel. Cette liste n'est pas exhaustive mais elle est présentée à titre indicatif de la grande variété des alliages de nickel et des composés disponibles, incluant certains qui sont importants du point de vue commercial et ceux qui sont testés dans les systèmes biologiques. Il existe également plusieurs composés intermédiaires produits dans les raffineries, qui ne peuvent pas être caractérisés et, de ce fait, sont exclus de la liste présentée. Les composés de nickel peuvent être classés en deux groupes principaux : les composés inorganiques et les composés organiques.

1.2.1 Les composés inorganiques

Les composés inorganiques de nickel peuvent être regroupés en fonction de leur solubilité dans l'eau. Ainsi, il existe des composés solubles incluant le chlorure de nickel ($NiCl_2$), le sulfate de nickel ($NiSO_4$), le nitrate de nickel ($Ni(NO_3)_2$) et les composés moins solubles incluant l'oxyde de nickel (NiO) et le sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2). Selon la voie d'exposition, la solubilité peut être un paramètre important (IARC 1990; ATSDR, 2005).

1.2.2 Les composés organiques

Les composés organiques peuvent être groupés en fonction de la nature chimique du ligand. Les carboxylates se dissocient normalement de façon significative en solution aqueuse. Dans la majorité des composés organiques, le nickel est à l'état d'oxydation Ni^{+2}, à l'exception du tétracarbonyle de nickel qui présente un état d'oxydation Ni^0. Ce composé est le plus toxique de tous les composés de nickel notamment par voie respiratoire, selon les nombreux empoisonnements accidentels humains (NiPERA, 1996).

Tableau 3. Noms chimiques (CAS), synonymes et formules moléculaires ou compositions de nickel, d'alliage de nickel et de composés de nickel sélectionnés (traduit de IARC (2012))

Nom chimique	N° CAS	Formule
Nickel métallique et alliages de nickel		
Nickel	7440-02-0	Ni
Ferronickel	11133-76-9	Fe, Ni
Nickel aluminium	61431-86-5	NiAl
Alliages	37187-84-1	
Oxydes et hydroxydes de nickel		
Hydroxyde de nickel (amorphe)	12054-48-7 (11113-74-9)	$Ni(OH)_2$
Monoxyde de nickel	1313-99-1 11099-02-8 34492-97-2	NiO
Trioxyde de nickel	1314-06-3	Ni_2O_3
Sulfures de nickel		
Disulfure de nickel	12035-51-7 12035-50-6	NiS_2
Sulfure de nickel (amorphe)	16812-54-7 (11113-75-0) 1314-04-1 (61026-96-8)	NiS
Sous-sulfure de nickel	12035-72-2	Ni_3S_2
Pentlandite	53809-86-2 12174-14-0	$Fe_9Ni_9S_{16}$ $(Fe_{0.4–0.6}Ni_{0.4–0.6})_9S_8$
Sels de nickel		
Carbonate de nickel	3333-67-3	$NiCO_3$
Carbonates de nickel basiques	12607-70-4 12122-15-5	$NiCO_3.2Ni(OH)_2$ $2NiCO_3.3Ni(OH)_2$
Acétate de nickel	373-02-4	$Ni(OCOCH_3)_2$
Acétate de nickel tétrahydraté	6018-89-9	$Ni(OCOCH_3)_2.4H_2O$
Sulfates de nickel et d'ammonium	15-699-18-0	$Ni(NH_4)_2(SO_4)_2$
Sulfate de nickel et d'ammonium hexahydraté	25749-08-0	$Ni_2(NH_4)_2(SO4)_3.6H_2O$
	7785-20-8	$Ni(NH_4)_2(SO4)_2.6H_2O$
Chromate de nickel	14721-18-7	$NiCrO_4$
Chlorure de nickel	7718-54-9	$NiCl_2$

Nom chimique	N° CAS	Formule
Chlorure de nickel hexahydraté	7791-20-0	$NiCl_2.6H_2O$
Nitrate de nickel hexahydraté	13478-00-7	$Ni(NO_3)_2.6H_2O$
Sulfate de nickel	7786-81-4	$NiSO_4$
Sulfate de nickel hexahydraté	10101-97-0	$NiSO_4.6H_2O$
Sulfate de nickel heptahydraté	10101-98-1	$NiSO_4.7H_20$
Autres composés de nickel		
Nickel carbonyl	13463-39-3	$Ni(CO)_4$
Antimoniure de nickel	12035-52-8 12125-61-0	NiSb
Arséniures de nickel	27016-75-7	NiAs
	1303-13-5	NiAs
	12256-33-6	$Ni_{11}As_8$
	12044-65-4	$Ni_{11}As_8$
	12255-80-0	Ni_5As_2
Séléniure de nickel	1314-05-2 12201-85-3	NiSe
Sous-séléniure de nickel	12137-13-2	Ni_3Se_2
Nickel sulfarsénide	12255-10-6 12255-11-7	NiAsS
Tellurure de nickel	12142-88-0 24270-51-7	NiTe
Titanate de nickel	12035-39-1	$NiTiO_3$
Chrome nickel nickel spinelle noir	71631-15-7	$(Ni,Fe)(CrFe)_2O_4$ NS
Spinelle brun ferrite	68187-10-0	$NiFe_2O_4$
Nickelocène	1271-28-9	$Ni(\eta^5\text{-}C_5H_5)_2$

2. LES SOURCES DE NICKEL ET SES COMPOSÉS DANS L'AIR, L'EAU ET LE SOL

Le nickel se trouve à l'état naturel dans la croute terrestre, formant environ 0,008% de la composition totale de celle-ci, constituant ainsi le 24ème élément le plus abondant (EPA, 1986; ATSDR, 2005). La pentlandite [$(Fe,Ni)_9S_8$], un sulfure de nickel et de fer, et le nickel sous forme de silicate ou hydrosilicate (comme la garniérite) sont deux formes naturelles de nickel présentes dans les roches. Le nickel provenant de sources artificielles est probablement représenté principalement par des oxydes et des sulfates de tailles de particules plutôt petites (diamètre massique médian (MMD) d'environ 1 µm) et environ 15 à 90% sont solubles (lixiviable) (OMS 2013).

Les sources naturelles, comme les éruptions volcaniques et les poussières soufflées par le vent, contribuent au nickel atmosphérique (ATSDR, 2005). Cependant, les activités anthropiques demeurent les principales sources d'émission du nickel. La combustion des énergies fossiles serait le principal contributeur de nickel atmosphérique dans le monde (Barbante et al., 2002; ATSDR, 2005; Rydh et Svärd, 2003). Les autres sources anthropiques de nickel dans l'atmosphère sont la fusion du nickel et les procédés d'affinage du nickel, l'incinération municipale, la production d'acier et d'autres alliages ainsi que la combustion du charbon (ATSDR, 2005).

La charge en nickel dans l'eau vient des sources naturelles (érosion et dissolution des roches). Les activités anthropiques contribuent grandement à la présence du nickel dans l'eau, notamment les industries de traitement du nickel, les industries de traitement des eaux et les déchets domestiques (NTP, 2000; ATSDR, 2005; WHO, 2007). Plusieurs facteurs, comme le pH, peuvent influencer la distribution du nickel entre l'eau de surface et l'eau souterraine. À pH faible (pH< 6,5) (pluies acides), la plupart des composés de nickel sont relativement solubles dans l'eau, favorisant leur mobilité et donc contribuant à accroître leurs concentrations dans les nappes phréatiques (NTP, 2000; WHO, 2007). Dans le sol et les sédiments, les sources naturelles et anthropiques contribuent grandement aux teneurs en nickel retrouvées notamment les mines, les fonderies, les cendres de charbon, les déchets, les boues des stations d'épuration (NTP, 2000; ATSDR, 2005).

3. UTILISATION DES COMPOSÉS DE NICKEL

3.1 Nickel métallique et alliages de nickel

Les nombreuses propriétés intéressantes du nickel (dureté, point de fusion élevé, ductilité, malléabilité, peu ferromagnétique, bon conducteur électrique et de chaleur…) lui confèrent la capacité de se combiner à d'autres éléments pour former plusieurs alliages (NTP, 2000; Tundermann et al., 2005).

Le nickel métallique pur est utilisé dans la fabrication d'alliages comme le placage, l'électroformage, les pièces de monnaie, les composants électriques, les réservoirs, les catalyseurs, les plaques de batteries, les composants frittés, les aimants et les baguettes de soudage. Le ferronickel est utilisé pour la fabrication d'acier. L'acier à faible teneur en nickel est utilisé dans la construction. L'acier inoxydable est utilisé dans la fabrication d'équipements de l'ingénierie, d'équipements chimiques, domestiques, hospitaliers, de transformation des aliments, panneaux architecturaux et fixations, équipement antipollution, utilisations cryogéniques, pièces automobiles et composants de moteurs (IARC, 1990). Les alliages de nickel sont souvent divisés en plusieurs catégories, dépendamment du métal d'alliage et de la teneur en nickel. Par exemple, l'acier inoxydable est un alliage de fer et de 25 à 30% de nickel. L'utilisation mondiale de nickel est importante et il a été rapporté que 60% de la production primaire servent à la fabrication d'acier inoxydable (USGS, 2008).

3.2 Les oxydes et hydroxydes de nickel

L'oxyde de nickel sinter est utilisé dans la fabrication d'alliage d'acier et d'acier inoxydable. L'oxyde de nickel vert est utilisé dans la fabrication de catalyseurs, de céramiques et la fabrication de ferrites magnétiques de nickel-zinc. Le nickel noir est utilisé dans la fabrication de sels de nickel, de céramiques spécialisées et les catalyseurs. L'hydroxyde de nickel est utilisé comme catalyseur intermédiaire et dans la manufacture de batteries Ni-Cd (Antonsen & Meshri, 2005).

3.3 Les sulfures de nickel

Les sulfures de nickel sont utilisés comme catalyseurs en hydrogénation pétrochimique. Le monosulfure de nickel est utilisé majoritairement dans le traitement hydrométallurgique du silicate d'oxyde de nickel (IARC, 1990). Le sous-sulfure de nickel est utilisé comme intermédiaire dans l'industrie primaire de nickel (ATSDR, 2005).

3.4 Les sels de nickel

Les sels de nickel sont utilisés en galvanoplastie, dans la céramique, comme catalyseur ou dans la formation d'autres composés. L'acétate de nickel est utilisé comme intermédiaire en galvanoplastie, dans la formation d'autres composés de nickel, comme colorant et comme scellant pour l'aluminium anodisé. Le carbonate de nickel est utilisé dans la manufacture d'autres substances de nickel (oxyde, poudre de nickel) comme catalyseur et pigment. C'est aussi un neutralisant dans l'électrodéposition du nickel. Le sulfate d'ammonium de nickel est un scellant mordant dans la finition des composés métalliques et un électrolyte en galvanoplastie. Le chlorure de nickel et le nitrate de nickel hexahydraté sont utilisés comme intermédiaire dans les catalyseurs de nickel. Le sulfate de nickel hexahydraté est utilisé dans la galvanoplastie et le

raffinage du nickel ainsi que dans la manufacture d'autres composés de nickel (Antonsen & Meshri, 2005).

3.5 Autres composés de nickel

Le carbonyle de nickel est utilisé comme intermédiaire dans la production de nickel très pur et comme catalyseur en chimie de synthèse (réaction de carbonylation). Le nickelocène est un catalyseur et un agent complexifiant et le titanate de nickel est utilisé comme pigment (Antonsen et Meshri, 2005).

4. VOIES D'EXPOSITION ET D'ABSORPTION DU NICKEL ET CONTRIBUTION RELATIVE DES SOURCES

4.1 Exposition en milieu professionnel

L'inhalation d'aérosols de poussières, de fumées ou de brouillard est une voie d'exposition principale au nickel et ses composés chez les travailleurs. L'exposition peut aussi se faire par contact avec la peau, lors de la manipulation de solutions contenant du nickel (en galvanoplastie notamment), de sels de nickel et de nickel métallique ou ses alliages. L'exposition peut aussi se produire suite à une ingestion par inadvertance des composés de nickel, par comportement main-bouche, lorsque les bonnes pratiques d'hygiène ne sont pas respectées. L'exposition professionnelle peut entraîner des niveaux élevés de nickel dans le sang, l'urine et les tissus corporels, l'inhalation étant la principale voie d'absorption (IARC, 1990; NTP, 2000).

4.2 Exposition de la population générale

L'inhalation, l'ingestion et le contact cutané sont aussi les principales voies d'exposition au nickel et ses composés dans la population générale (ATSDR, 2005). Toutefois, l'exposition au nickel et ses composés dans la population générale se fait normalement principalement par l'ingestion de nourriture ou dans certains cas, par la consommation d'eau contaminée. Les apports quotidiens en nickel, selon une étude menée aux États-Unis, seraient de l'ordre de 100 µg/jour, avec des valeurs quelque peu (1,2 – 1,6 fois) plus élevées chez les hommes et les femmes enceintes et allaitantes (ATSDR, 2005). L'exposition au nickel par l'air peut par contre devenir significative chez les groupes de la population demeurant à côté de zones industrielles, telles que des raffineries de nickel (ATSDR, 2005). Néanmoins, en raison du grand nombre de sources industrielles de nickel, les concentrations de ce composé dans l'air ambiant peuvent varier considérablement. Le document de l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2000) rapporte des informations intéressantes sur les concentrations de nickel retrouvées dans l'air ambiant, bien que datant de plusieurs années. Ce document indique que, dans une région de l'Arctique canadien, des concentrations de 0,38 à 0,62 ng/m^3 ont été enregistrées comparativement à 124 ng/m^3 à proximité d'une fonderie de nickel. Le document de l'OMS (2000) mentionne aussi que des valeurs élevées (110-180 ng/m^3) ont été signalées dans d'autres zones fortement industrialisées, ce qui correspondrait à un apport quotidien de 2,2 – 3,6 µg/jour, considérant un taux d'inhalation journalier par défaut de 20 m^3/jour. De façon générale, la contribution de l'ingestion à la dose totale absorbée (dose interne pouvant causer des effets systémiques à des sites distants du site d'entrée) dans la population générale est donc significativement plus élevée que la contribution de l'air.

Néanmoins, les voies respiratoires étant un organe cible et une voie d'absorption majeure du nickel et les composés du nickel, l'inhalation est considérée comme la voie d'exposition la plus importante en ce qui concerne les effets sur les voies respiratoires, incluant les poumons. La synthèse document du NiPERA (2017), décrite plus loin, détaille l'importance de la déposition et de rétention de différentes formes de nickel ainsi que la dissolution (formation d'ions Ni^{2+}) selon la forme de nickel (sulfate de nickel, oxyde de nickel ou sous-sulfure de nickel).

L'absorption percutanée du nickel est quantitativement mineure, mais elle est associée à des manifestations d'hypersensibilité cutanée au nickel.

5. TOXICOCINÉTIQUE DES PARTICULES INHALABLES ET RESPIRABLES AU NIVEAU DES VOIES RESPIRATOIRES

Pour évaluer les effets de l'exposition par inhalation, dépendant de la grosseur des particules, on considère généralement la mesure des particules inhalables ou la mesure des particules respirables. La mesure des particules inhalables représente les particules qui peuvent entrer dans le nez et la bouche pendant la respiration et donc disponibles pour déposition dans les voies respiratoires, incluant les grosses particules avec un diamètre aérodynamique pouvant aller jusqu'à 100 µm. La mesure des particules respirables représente la fraction des particules qui atteint les régions des voies respiratoires non ciliées, donc le poumon profond où les échanges des gaz se produisent et inclut les particules allant jusqu'à 10 µm. En général, 1% des particules de 10 µm atteignent les régions alvéolaires et la déposition dans les régions alvéolaires est maximum pour les particules de 2 µm (OMS, 1999; Oberdörster, 2001). La mesure des particules thoraciques représente la fraction qui peut atteindre les régions dépassant le larynx.

La clairance des particules dans les voies respiratoires va dépendre de la taille des particules et de leur réactivité. Pour les particules pouvant atteindre la région alvéolaire des poumons, l'élimination peut se faire soit par dissolution, soit de façon mécanique suite à une phagocytose par les macrophages alvéolaires. Pour les particules peu solubles, la dissolution ne devrait pas jouer un rôle majeur dans l'élimination, mais la différence dans les taux de clairance mécanique entre les rats et les humains est significative (Bellmann et al., 1991; Bailey et al., 1985; Gregoratto et al., 2010; Pauluhn, 2010; Snipes, 1989)

Pour les particules de sulfate de nickel, dont la solubilité est élevée, la clairance pulmonaire se produira principalement par dissolution (comme décrit par Oller et al., 1997). La clairance mécanique des particules non dissoutes se poursuivrait avec une demi-vie (t1/2) de rétention de 70 jours. La t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution a été calculée à 4,5 jours chez le rat, confirmant que la plus grande partie de la clairance se produira effectivement par dissolution et compatible avec la libération élevée de Ni^{2+} dans les liquides pulmonaires suite à l'exposition au sulfate de nickel (NiPERA, 2017). Le taux de clairance totale du sulfate de nickel chez l'humain a aussi été calculé en considérant que la t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution sera la même chez l'humain que chez le rat (soit de 4,5 jours) et que la t1/2 de rétention mécanique pourrait être 10 fois plus élevée chez l'homme que chez les rats (NiPERA, 2017). En utilisant une valeur très conservatrice pour cette dernière de 700 jours chez l'humain, la t1/2 de rétention totale chez l'humain peut être calculée à 4,5 jours.

Pour le sous-sulfure de nickel, la t1/2 de rétention mécanique des particules non dissoutes a été estimée à 70 jours chez le rat. La t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution a été calculée à 46 jours chez le rat (NiPERA, 2017). Compatible avec l'étude d'Oller et al. (1997), la t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution, et donc par formation de Ni^{2+}, est plus longue pour le sous-sulfure de nickel comparativement au sulfate de nickel. Comme pour le sulfate de nickel, le taux de clairance totale du sous-sulfure de nickel chez l'humain a ensuite été calculé en considérant que la t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution sera la même chez l'humain que chez le rat (soit de 46 jours) et que la t1/2 de rétention mécanique pourrait être 10 fois plus élevée chez l'homme que chez les rats, soit 700 jours. La t1/2 de rétention totale du sous-sulfure de nickel chez l'humain a ainsi été calculée à 43 jours (NiPERA, 2017).

Pour le nickel métallique, la t1/2 de rétention totale du nickel métallique chez le rat a été calculée à environ 39 jours. Un t1/2 de rétention mécanique chez les rats de 70 jours a été considérée et t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution de 88 jours. Pour le nickel métallique, la rétention plus longue pour la composante éliminée par dissolution par rapport au sulfure de Ni et au sous-sulfure de nickel est compatible avec la libération plus lente d'ion Ni^{2+} dans les liquides pulmonaires. Le taux de clairance totale du nickel métallique chez l'humain a ensuite été calculé en considérant que la t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution sera la même chez l'humain que chez le rat (soit de 88 jours) et que la t1/2 de rétention mécanique pourrait être 10 fois plus élevée chez l'homme que chez les rats, soit 700 jours. La t1/2 de rétention totale du nickel métallique chez l'humain a ainsi été calculée à 78 jours (NiPERA 2017).

Pour l'oxyde de nickel, toujours selon NiPERA (2017), en utilisant une estimation de t1/2 de rétention totale de 116 ou 500 jours pour les particules d'oxyde de nickel chez le rat et un t1/2 de rétention mécanique de 70 jours, une clairance négligeable (~ zéro) par dissolution a été calculée par NiPERA. Cela correspond à la très faible libération d'ion Ni^{2+} par l'oxyde de Ni dans les liquides pulmonaires, compatible avec ce qui a été rapporté par Oller et al. (1997).

6. ÉTUDES TOXICOLOGIQUES ET ÉPIDÉMIOLOGIQUES SUR LES EFFETS SANITAIRES

De nombreux organismes gouvernementaux et groupes de travail ont revu les études toxicologiques et épidémiologiques sur le nickel. Basées sur les revues déjà effectuées par ces organismes, les études principales concernant les effets aigus et chroniques observés chez l'humain et l'animal exposés à différentes formes de nickel par inhalation sont d'abord présentées. Les études portant sur une exposition indirecte ou par d'autres voies que l'inhalation sont ensuite décrites. Lorsque disponible, l'information sur la taille des particules est mentionnée; cependant, il difficile d'estimer de façon systématique, à partir des données disponibles, l'impact de la taille des particules sur l'apparition des effets.

6.1 Inhalation

6.1.1 Effets reliés à une exposition aiguë

6.1.1.1 Données humaines

Quelques études humaines ont rapporté des effets toxiques aigus suite à des expositions accidentelles à des niveaux élevés de nickel ou des expositions chez des travailleurs susceptibles (Tableau 4). Le United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA, 1985) rapporte notamment le cas d'une personne exposée à un taux extrêmement élevé de nickel par inhalation, qui a subi de graves dommages aux poumons et aux reins (U.S. EPA, 1985). Une fibrose pulmonaire et un œdème rénal ont également été signalés chez des humains après une exposition aiguë (à court terme) au carbonyle de nickel. Par ailleurs, un autre cas d'un travailleur décédé du syndrome de détresse respiratoire adulte (SDRA) induit par le nickel a été signalé suite à une pulvérisation de nickel à l'aide d'un procédé à arc thermique (Rendall et al., 1994). La mort est survenue 13 jours après une exposition de 90 minutes à une concentration de nickel estimée à 382,1 mg/m^3; la dose de nickel totale a été estimée à près de 1 g. Phillips et al. (2010) ont aussi examiné le cas d'un homme de 38 ans en bonne santé qui avait inhalé des nanoparticules de nickel en pulvérisant du nickel sur des bagues pendant environ 90 minutes et qui avait retiré son demi-masque de protection pendant le processus de pulvérisation. Après cette intervention, le sujet s'est plaint sur son état général (incluant toux, essoufflement et douleurs à la poitrine). Quatre jours après l'exposition, il a été admis à l'hôpital en état de tachypnée, pyrexie et cyanose. Malgré un traitement avec de l'oxygène et des antibiotiques, il est décédé 13 jours après l'exposition d'une insuffisance respiratoire et la cause officielle du décès a été rapportée comme étant un syndrome de détresse respiratoire de l'adulte (SDRA). Des nanoparticules de nickel (<25 nm) ont été identifiées dans des macrophages pulmonaires par microscopie électronique à transmission. Des niveaux élevés de nickel ont été mesurés dans l'urine du sujet (780 µg/l) et ses reins ont montré des signes de nécrose tubulaire. En outre, une hématurie et une protéinurie indiquant également une toxicité rénale ont été observées. Ces résultats indiquent que le nickel inhalé peut être absorbé au niveau systémique et affecter des organes autres que le site d'entrée.

Chez des travailleurs, des effets aigus ont été rapportés chez des asthmatiques en particulier. Le document du California EPA (OEHHA 2012) rapporte en autres les résultats d'une étude ayant évalué l'atopie et la fonction pulmonaire chez un groupe de sept travailleurs d'une usine de placage de métaux souffrant d'asthme professionnel, en réponse à une provocation par

inhalation avec du sulfate de nickel hexahydraté et d'autres métaux (Cirla et al., 1985). Trois des asthmatiques présentaient des anticorps IgE spécifiques au nickel. Des réactions positives aux tests cutanés ont été observées chez trois des travailleurs asthmatiques qui présentaient également une dermatite. Six asthmatiques sur sept ont présenté une diminution significative du « Volume expiratoire maximal par seconde » (VEMS) (> 15%) lorsqu'exposés à 0,3 mg/m^3 d'aérosol de sulfate de nickel pendant 30 minutes. L'exposition à d'autres sels métalliques n'a pas révélé de diminution du VEMS significative. Aucune information sur la taille des particules n'a été fournie par les auteurs. Par ailleurs, il a été rapporté que des vapeurs de nickel provenant du soudage à haute teneur en nickel (concentration moyenne de 440 µg Ni/m^3, intervalle de 70 – 1 100 µg Ni/m^3) ont provoqué des irritations des voies respiratoires supérieures et des maux de tête chez des soudeurs exposés pendant 4 semaines (Akesson et Skerfving, 1985).

Les composés de nickel solubles semblent être les plus préoccupants en ce qui concerne les effets aigus sur la santé (Tableau 4). Les formes solubles de nickel sont absorbées sous forme de Ni^{2+} (Coogan et al., 1989). Le nickel divalent est en compétition avec le cuivre pour se lier à l'albumine sérique et est transporté par voie systémique de cette manière (Sunderman et al., 1986). Les reins, les poumons et le placenta sont les principaux organes d'accumulation systémique du nickel (Sunderman et al., 1986). Contrairement aux formes insolubles du nickel, qui ont une longue demi-vie dans la muqueuse nasale, la demi-vie d'élimination de Ni^{2+} dans le plasma est de 1 à 2 jours chez la souris (Nieboer et al., 1988).

Tableau 4 – Sommaire des données de toxicité aiguë du nickel chez l'humain (adapté de OEHHA, 2012)

Étude	Composés	Travailleurs et exposition	Effet principal	Commentaires/ autres effets observés
Cirla et al. (1985)	Aérosol de $NiSO_4$	Travailleurs de placage métallique souffrant d'asthme professionnel (n = 7) exposés à 0,3 mg Ni/m^3 x 30 min	Réduction de > 15% de la VEMS pour 6/7 travailleurs	Aucune information sur la taille des particules; 3/7 travailleurs avec anticorps IgE spécifiques au nickel
Phillips et al. (2010)	Nanoparticules de Ni, diamètre <25 nm	Pulvérisation de nickel sur des bagues pendant environ 90 minutes	Syndrome de détresse respiratoire de l'adulte (SDRA), insuffisance respiratoire et décès 13 jours après l'exposition	Nanoparticules de Ni présentes dans les macrophages pulmonaires; concentrations élevées de Ni dans l'urine (780 µg/l) et dans les reins; présence d'une nécrose tubulaire rénale
Akesson (et al.) 1985	Vapeurs de nickel	Soudeurs exposés à 440 µg Ni/m^3 (en moyenne), 4 semaines	Irritations des voies respiratoires supérieures; maux de tête	

6.1.1.2 Données animales

Le document de l'ATSDR (2005) rapporte que la toxicité aiguë du nickel a été évaluée dans plusieurs études sur des animaux exposés au sulfate de nickel ($NiSO_4$) (Evans et al., 1995; NTP, 1996c), au chlorure de nickel ($NiCl_2$) (Adkins et al., 1979), au sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2) (Benson et al., 1995; NTP 1996b) et à l'oxyde de nickel (NiO) (NTP 1996a). Les effets aigus chez l'animal ont aussi été résumés par d'autres organismes comme OEHHA (2012) (Tableau 5). Les effets observés incluent des modifications inflammatoires dans les poumons (Benson et al., 1995; NTP 1996a, 1996b, 1996c), une atrophie de l'épithélium nasal olfactif (Evans et al 1995; NTP 1996a, 1996b, 1996c), une hyperplasie lymphatique bronchique et médiastinale des ganglions (NTP 1996a, 1996b, 1996c), une fonction immunitaire altérée (Adkins et al., 1979; Graham et al., 1978) et une diminution du gain de poids (NTP, 1996b, 1996c), probablement secondaire à une lésion pulmonaire.

Le National Toxicology Program (NTP) rapporte trois études sur la toxicité de différentes formes de nickel, le sulfure de nickel soluble ($NiSO_4$), l'oxyde de nickel insoluble (NiO) et le sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2) (NTP 1996a, 1996b, 1996c). Ces études ont montré que la toxicité non néoplasique du nickel dans les voies respiratoires (effets non cancéreux) était associée à la solubilité des différents composés de nickel, le sulfate de nickel soluble s'étant avéré le plus toxique et l'oxyde de nickel insoluble s'étant avéré le moins toxique. En effet, la comparaison des résultats de ces trois études montre que la toxicité pulmonaire non néoplasique du sulfate de nickel est plus importante que celle du sous-sulfure de nickel ou l'oxyde de nickel. Le NTP (1996b, 1996c) ne rapporte pas de valeur de niveau le plus élevé sans effet néfaste observé (« No-observed adverse effect level » ou NOAEL) pour les effets sur les voies respiratoires pour le sulfate de nickel ou le sous-sulfure de nickel. Dans ces études du NTP (1996b, 1996c), chez des rongeurs exposés 6 heures/jour, 5 jours par semaine, pendant 12 jours (sur une période de 16 jours), une inflammation pulmonaire et une atrophie de l'épithélium olfactif nasal ont été observées à la plus faible concentration testée de sulfate de nickel (0,7 mg Ni/m^3) et de sous-sulfure de nickel (0,44 mg Ni/m^3). À des concentrations de 0,7 et 3,65 mg Ni/m^3 sous forme de sulfate de nickel et de sous-sulfure de nickel, respectivement, l'inflammation s'accompagnait d'une respiration laborieuse, suggérant une altération de la fonction pulmonaire. Chez les souris, les niveaux les plus faibles associés à un effet néfaste (« lowest-observed adverse effect level » ou LOAEL) pour l'inflammation pulmonaire étaient respectivement de 0,7 et 1,83 mg Ni/m^3 pour le sulfate de nickel et le sous-sulfure de nickel. L'oxyde de nickel présentait une toxicité pulmonaire non cancéreuse plus faible que les deux autres composés de nickel. Suite à une exposition à l'oxyde de nickel, les valeurs NOAEL et LOAEL pour l'inflammation pulmonaire aiguë étaient de 3,9 et 7,9 mg Ni/m^3 chez les rats, respectivement; chez les souris, la plus forte concentration testée (23,6 mg Ni/m^3) était un NOAEL pour les effets respiratoires. Tel que décrit par ATSDR (2005), bien que l'étude aiguë sur le sous-sulfure de nickel ait utilisé des concentrations plus faibles que celles de l'étude sur le sulfate de nickel, certains éléments semblent indiquer que les effets du sulfate de nickel étaient plus graves. À 0,7 mg Ni/m^3 de sulfate de nickel, l'inflammation pulmonaire était de gravité minime à faible (score de gravité de 1,2 à 1,8) et était accompagnée d'une respiration laborieuse et une diminution de 28% du poids corporel. L'inflammation pulmonaire chez les rats exposés à 0,44 ou 0,88 mg Ni/m^3 sous forme de sous-sulfure de nickel a été jugée minime (1,0) et n'était pas accompagnée d'aucune altération de la respiration ou d'effets sur le poids corporel. En accord avec les résultats du NTP (1996b) sur le sous-sulfure de nickel, Benson et al. (1995) ont observé une alvéolite chez des rats exposés à 0,22 mg Ni/m^3 sous forme de sous-sulfure de nickel 6 heures par jour pendant 7 jours.

Par ailleurs, l'étude de Graham et al. (1978) a montré la sensibilité du système immunitaire aux effets toxiques aigus du nickel et est considéré par plusieurs organismes gouvernementaux dans l'établissement de valeurs guides ou de normes. Des souris femelles albinos Swiss, de souche CD-1, âgées de six semaines (14-29 par groupe) ont été exposées par inhalation à 0, 0,1, 0,25, 0,375 et 0,49 mg Ni/m^3 sous forme de dichlorure de nickel ($NiCl_2$) soluble pendant deux heures (avec 99% des particules ayant un diamètre médian ≤ 3 µm). Immédiatement après exposition aux aérosols, tous les animaux, y compris les témoins, ont été immunisés avec une suspension de globules rouges de mouton injectée par voie intrapéritonéale. Une technique directe de dosage des plaques de Jerne (Jerne et Nordin 1963) a été utilisée pour tester la capacité de production d'anticorps IgM par des cellules spléniques (de la rate) récoltées le quatrième jour après immunisation, et les cellules de chaque souris ont été plaquées en triple. Le nombre de plaques par plateau a été converti en nombre de plaques par 10^6 cellules pour analyse. Une diminution significative du nombre de cellules spléniques formant des anticorps a été observée chez les souris exposées comparativement aux souris témoins (Graham et al., 1978). Une relation dose-réponse linéaire a été observée et, selon l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA 2012, 2013) du gouvernement californien (California Environmental Protection Agency (CalEPA)), un LOAEL de 0,25 mg Ni/m^3 et un NOAEL potentiel de 0,1 µg Ni/m^3 peuvent être établis, bien que cette dernière concentration critique n'est pas considéré aussi fiable que le LOAEL (aucune valeur chez les rats contrôles n'est donnée). En réanalysant les données de ces auteurs par une approche statistique, l'OEHHA a établi une limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95% de la benchmark dose (BMDL) de 164,6 µg Ni/m^3. La BMDL05 est une concentration associée à un pourcentage de réponse (effet indésirable) de 5% par rapport aux témoins. Cette dernière valeur est d'ailleurs utilisée par l'OEHHA comme point de départ (« point-of-departure ») pour dériver une concentration de référence (appelé « Reference Exposure Level (REL) ») potentielle pour une exposition de 8 heures.

Compatible avec les données de Graham et al. (1978), Adkins et al. (1979) ont exposé des souris par inhalation (n = 80-120 par groupe) à des aérosols de nickel solubles à des concentrations de 0, 289, 369 et 499 µg Ni/m^3 pendant deux heures, sous forme de dichlorure de nickel ($NiCl_2$) ou de sulfate de nickel ($NiSO_4$) (tailles de particules de 86 à 96% < 1,4 µm, 99% < 3,0 µm). Ces auteurs ont montré que les souris traitées étaient significativement plus sensibles à la mortalité par infection bactérienne à streptocoque. Des effets significatifs ont été observés aux concentrations de 499 µg Ni/m^3 après exposition au dichlorure de nickel et de 455 µg Ni/m^3 après exposition au sulfate de nickel. Aucun changement significatif dans la mortalité n'a été observé après exposition à 369 µg Ni/m^3 de dichlorure de nickel. À partir de ces données, l'OEHHA a dérivé un BMDL de 365 µg Ni/m^3, soit une valeur environ deux fois la BMDL obtenue à partir des données de Graham et al. (1978), mais pour un critère d'évaluation plus sévère.

Ces données sur les effets sur le système immunitaire et l'inflammation sont appuyées par celles d'autres auteurs. Notamment, Haley et al. (1990) ont constaté que l'exposition de souris au sulfate de nickel ($NiSO_4$), au sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2) ou à l'oxyde de nickel (NiO) entraînait divers effets immunologiques. Des souris ont été exposées soit à 0, 0,11, 0,45 ou 1,8 mg Ni/m^3 sous forme de Ni_3S_2 (MMAD = 2,4 um, écart type géométrique (GSD) = 2,2), soit à 0,47, 2,0 ou 7,9 mg de Ni/m^3 sous forme de NiO (MMAD = 2,8 um, GSD = 1,8) ou soit à 0,027, 0,11 et 0,45 mg de Ni/m^3 sous forme de $NiSO_4$ (MMAD = 2,3 µm, GSD = 2,4), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 13 semaines. Une diminution significative de la réponse des cellules formant des anticorps (AFC) a été observée à des concentrations de 1,8 mg Ni/m^3 sous forme de Ni_3S_2. En revanche, une augmentation des anticorps dans les cellules AFC des ganglions lymphatiques associés aux poumons a été systématiquement observée, indiquant une influence

indirecte possible des médiateurs inflammatoires libérés dans les poumons sur les ganglions lymphatiques locaux. Haley et al. (1987) ont également montré une fonction phagocytaire altérée et une activité accrue des cellules *Natural killer* (NK) chez des singes Cynomolgus mâles, exposés au Ni_3S_2 par voie intratrachéale (taille des particules non spécifiée) à une dose délivrée de 0,06 µmol Ni/g de tissu pulmonaire. Lundborg et Camner (1984) ont en outre montré une diminution significative de l'activité des macrophages lysozymes dans le liquide de lavage bronchoalvéolaire (LBA) et dans les cultures de macrophages chez des lapins exposés à 0,24 mg Ni/m^3 sous forme de chlorure de nickel (MMAD = 0,5-1,0 µm), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 4 semaines, comparativement aux animaux témoins (n = 8 par groupe).

Roberts et al. (2009) ont exposé des rats Sprague-Dawley par instillation intratrachéale à 55,7 µg/rat de dichlorure de nickel ($NiCl_2$) seul ou en combinaison avec d'autres métaux solubles et ont vérifié les lésions pulmonaires suite à une infection avec la bactérie *Listeria monocytogenes*. Avant l'infection, le nickel soluble seul ou en mélange ne produisait pas plus de lésions pulmonaires comparativement aux témoins. Après l'infection, les animaux traités au nickel présentaient une augmentation de la charge pulmonaire bactérienne et une diminution du poids corporel. Après infection, le nickel seul ou en mélanges augmentait les espèces réactives de l'oxygène dans les poumons et a provoqué une suppression de l'activité des lymphocytes T. Dans l'ensemble, les auteurs ont conclu que le nickel soluble était le métal primaire impliqué dans la susceptibilité accrue à l'infection observée chez des rats exposés aux métaux solubles.

Tel que rapporté par l'OEHHA (2012), Ishihara et al. (2002) ont aussi étudié les réponses inflammatoires et la sécrétion de mucus chez des rats Wistar (n = 5 par groupe) atteints de bronchiolite aiguë suite à une exposition au chlorure de nickel ($NiCl_2$) par inhalation avec un nébuliseur à ultrasons 5 heures/jour pendant 5 jours. Les concentrations moyennes de nickel dans les aérosols étaient de 0,85 mg Ni/m^3 le premier jour et de 0,24 mg Ni/m^3 pendant les jours deux à cinq et le diamètre médian des particules (MMAD) était de 1,8 µm (écart type géométrique de 1,6). Plusieurs biomarqueurs inflammatoires ont été mesurés à différents temps dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire. Les concentrations totales de protéines, l'activité élastolytique totale, la capacité inhibitrice de la trypsine, la β-glucuronidase, le fucose et l'acide sialique dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire étaient significativement supérieures à celles des témoins ($P < 0,05$). Le chimio-attractif des neutrophiles induit par les cytokines (CINC) et les produits géniques régulés par la croissance (GRO) ainsi que la L-sélectine soluble étaient significativement augmentés aux jours 3-6 et 5-6 jours, respectivement. L'étendue de la lésion du tissu pulmonaire a également été évaluée par des observations histopathologiques; il n'y avait aucune exfoliation de l'épithélium des voies respiratoires au jour cinq d'exposition, soit quand la bronchiolite s'est développée. Ces données indiquent donc que l'inhalation de chlorure de nickel a provoqué une réponse inflammatoire aiguë avec hypersécrétion de mucus, qui s'est dissipée en un mois. L'OEHHA a calculé des BMDL à partir de ces données. Les valeurs obtenues étaient significativement inférieures à la BMDL de 165 $µg/m^3$ calculée à partir des données de Graham et al. (1978) pour l'inhibition de la production d'anticorps chez la souris, mais sont en accord avec le protocole d'exposition sur une période plus longue (5 heures/jour x 5 jours).

Jia et al. (2010) ont mené une étude mécaniste de l'altération olfactive induite par le nickel. Des souris mâles ont été instillées par voie intranasale avec sulfate de nickel ($NiSO_4$), à une dose 0, 0,1, 0,5 ou 2,5 mg/kg pc. L'épithélium olfactif a été examiné histologiquement et immunochimie a été effectuée 1 à 7 jours après l'instillation. La toxicité nasale était dépendante de la dose et du temps et était caractérisée par une diminution de l'épaisseur de régions nasales atteignant jusqu'à 30 et 15 µm aux doses supérieures. Aucun effet n'a été observé dans la cloison nasale.

Une mortalité de 100% a été observée chez des souris (n = 10) suite à une exposition subaiguë par inhalation à des particules de nickel sous forme de sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2) à une concentration de 10 mg/m^3, 6 heures/jour, 5 jours/semaine, pendant 12 jours (avec un diamètre médian de 1,3 µm et écart type géométrique de 1,5) (Benson et al., 1988). Chez des rats exposés dans les mêmes conditions, deux mortalités ont également été observées sur 10 rats exposés. Des lésions de l'épithélium nasal et pulmonaire et des ganglions lymphatiques bronchiques ont été observées. La pathologie a révélé des changements emphysémateux dans les poumons des rats exposés à 5 ou 10 mg Ni_3S_2/m^3 et une fibrose chez des souris exposées à 5 mg Ni_3S_2/m^3. Une atrophie des tissus lymphoïdes, incluant la rate, le thymus et les ganglions lymphatiques bronchiques, a été observée chez des souris et des rats exposés à 5 ou 10 mg de Ni_3S_2/m^3.

Toya et al. (1997) ont évalué les effets d'instillations intratrachéales uniques et répétées de fumées de nickel (environ 10 nm de diamètre), de trioxyde de nickel (Ni_2O_3) (diamètre moyen géométrique de 2,0 µm et écart type géométrique de 1,69) et d'oxyde de nickel (NiO) (moyennes géométriques de 2,2 µm et écart type géométrique de 1,68) chez des rats Sprague-Dawley. La dose létale 50 (DL50) des fumées de nickel a été estimée à 38,2 mg/kg pc. Un retard dans la prise de poids corporel a été observé suite à des doses uniques de 13,0 mg Ni_2O_3/kg pc, 14,3 mg Ni fumées/kg pc, ou 13,0 mg NiO/kg pc par rapport aux contrôles. Les lésions pulmonaires induites par une seule exposition au nickel étaient caractérisées par une hyperplasie des cellules caliciformes, des cellules inflammatoires périvasculaires et un œdème dans l'espace alvéolaire. Les fumées de nickel et le Ni_2O_3 ont produit une hyperplasie des cellules caliciformes, un granulome focal et des cellules inflammatoires dans l'espace alvéolaire, mais le NiO n'a pas produit de lésions. Des instillations répétées de fumées de nickel à une dose de 5,9 mg/kg/jour pendant quatre jours à une semaine ont produit une sécrétion de matières protéiniques dans l'espace alvéolaire. Les auteurs ont noté que, bien que les fumées de nickel aient été composées d'environ 3% de Ni_2O_3 et du reste de NiO, sa toxicité était supérieure en poids à celle du Ni_2O_3 administré seul. Ils supposent que la différence de toxicité était due à la présence de particules ultrafines dans les fumées de nickel.

Serita et al. (1999) ont étudié les lésions formées dans les poumons de rats après une exposition de cinq heures au nickel métallique ultrafin aggloméré (Uf-Ni) avec un diamètre initial moyen de 20 nm et un aérosol d'exposition de diamètre médian (MMAD) de 1,3 µm (avec un écart type géométrique de 1,54). Soixante à 80 rats Wistar par groupe de dose (sexe non spécifié) ont été exposés à 0,15 (faible), 1,14 (moyen) ou 2,54 (élevé) mg Uf-Ni/m^3 pendant cinq heures. Cinq animaux par groupe de dose ont été sacrifiés à 0 heure et 1, 3, 7, 14 et 21 jours après l'exposition. Des animaux du groupe « faible » ont également été sacrifiés à 28, 56 et 84 jours après l'exposition. Les résultats toxicologiques incluent : (1) une augmentation significative du poids du poumon dans les groupes « moyen » et « élevé »; (2) l'accumulation de macrophages alvéolaires; (3) une lipoprotéinose alvéolaire qui s'été aggravée jusqu'à quatre semaines dans le groupe « élevé »; (4) une calcification aiguë probablement liée à une perturbation du transport des ions Ca^{2+} par l'ion Ni^{2+} solubilisé. Cette étude indique un LOAEL de 1,14 mg Ni/m^3 et un NOAEL de 0,15 mg Ni/m^3 pour une seule exposition de cinq heures au nickel métallique. Cependant, comme le soulignent les auteurs, si la moitié de la quantité de nickel déposée dans le poumon du groupe « faible » était reportée au lendemain, la quantité de dépôt après 30 jours à 5 heures/jour dépasserait le dépôt d'une seule exposition pour le groupe élevé. Par conséquent, il est difficile d'accepter 0,15 mg/m^3 comme une véritable NOAEL applicable aux scénarios d'exposition répétée.

Prows et Leikauf (2001) ont étudié les déterminants génétiques pouvant expliquer la susceptibilité aux lésions pulmonaires aiguës induites par le nickel chez les souris sensibles et

résistantes. Les souris ont été exposées 6 fois en un an dans une chambre d'inhalation à de l'air contenant 152 ± 12 µg Ni/m^3 (0,2 µm MMAD) généré à partir de 50 mM (10-3 M) de sulfate de nickel hexahydraté ($NiSO_4$ • $6H_2O$) (durée des expositions individuelles non indiquées). Certains gènes ont été identifiés comme étant à l'origine de la susceptibilité aux lésions pulmonaires, notamment un lien significatif sur le chromosome 6 (désigné Aliq4) et des liens possibles sur les chromosomes 1 et 12. Les gènes candidats sur le chromosome 6 incluent : Tbxas1 (thromboxane A synthase 1), Aqpl (aquaporine-1), Crhr2 (récepteur de l'hormone libérant la corticotrophine-2), Sftpb (protéine associée au surfactant B), Pecam (molécule d'adhérence) et Tgfa (TGF-α). Les résultats suggèrent que relativement peu de gènes pourraient jouer un rôle dans les lésions pulmonaires aiguës induites par un irritant.

Nishi et al. (2009) ont évalué les effets des nanoparticules d'oxyde de nickel (NiO) sur l'inflammation et l'expression des chimiokines chez des rats exposés par voie intratrachéale. Le diamètre médian des agglomérats de NiO en suspension dans l'eau distillée était de 26 nm (diamètre primaire de surface moyenne pondérée de 8,41 nm et surface spécifique de 104,6 m^2/g). Des rats Wistar mâles ont été exposés à 0,1 mg (0,33 mg/kg) ou à 0,2 mg (0,66 mg/kg), suivi d'un sacrifice à 3 jours, 1 semaine et 1, 3 et 6 mois après une seule instillation. Les taux de CINC-1 et de CINC-2αβ étaient élevés du 3e jour au 3e mois dans le tissu pulmonaire et de 3 à 6 mois dans le liquide du lavage broncho-alvéolaire (LBA). Le CINC-3 était élevé au jour 3 à la fois dans le tissu pulmonaire et le LBA, puis diminuait par la suite. Le nombre total de cellules et de neutrophiles dans le liquide de LBA a augmenté. Dans le tissu pulmonaire, l'infiltration de neutrophiles et de macrophages alvéolaires a été observée du 3e au 6e jour dans les alvéoles. Ces données indiquent l'implication de CINC dans les lésions pulmonaires induites par des nanoparticules de NiO.

Tableau 5 – Sommaire des données de toxicité aiguë du nickel chez l'animal (adapté de OEHHA, 2012)

Étude	Composés	Exposition	Effet principal	Commentaires / autres effets observés
Graham et al. (1978)	$NiCl_2$; 99% < 3 µm	Inhalation de 0, 100, 250, 375, 490 µg Ni/m^3 chez la souris pendant 2 heures (14-29 par groupe)	Immunotoxicité, diminution de la formation d'anticorps spléniques avec réponse dose-réponse linéaire	BDML05 de 165 µg/m^3 calculé par l'OEHHA (2012); Immunotoxicité évaluée par une technique directe de dosage des plaques de Jerne (Jerne et Nordin 1963) pour tester la capacité de production d'anticorps IgM par des cellules spléniques récoltées le 4^e jour après immunisation; conversion du nombre de plaques par plateau en nombre de plaques par 10^6 cellules pour analyse; observation d'une diminution significative du nombre de cellules spléniques formant des anticorps.
Adkins et al. (1979)	$NiCl_2$; 86-96% < 1.4 µm, 99% < 3 µm	Inhalation de 0, 289, 369, 499 µg Ni/m^3 pendant 2 h chez la souris (n = 80-120 /groupe)	Réponse à une infection expérimentale avec Streptococcus pyogenes, 24 heures après la dose de Ni; augmentation de la mortalité	BMDL de 365 µg Ni/m^3 pour l'augmentation, du double, de la mortalité (3,74 à 7,4%).

Étude	Composés	Exposition	Effet principal	Commentaires / autres effets observés
NTP (1996a)	NiO	Étude d'inhalation de 16 jours chez le rat avec des groupes de 5/sexe/dose : 0, 1,2, 2,5, 5,0, 10 ou 30 mg de NiO/m^3, 0, 0,9, 2,0, 3,9, 7,9 ou 23,6 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5j /sem, pour un total de 12 jours d'exposition	Modifications inflammatoires dans les poumons	Pigments particulaires dans les macrophages alvéolaires ou dans les espaces alvéolaires des poumons des groupes mâles et femelles exposés; hyperplasie des ganglions lymphatiques bronchiques, atrophie de l'épithélium olfactif observé à 30 mg/m^3.
NTP (1996b)	Ni_3S_2	Étude d'inhalation de 16 jours chez le rat avec des groupes de 5/sexe/dose : 0, 0,6, 1,2, 2,5, 5,0, 10 de Ni_3S_2/m^3, 0, 0,44, 0,88, 1,83, 3,65 ou 7,33 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem, pour un total de 12 jours d'exposition	Modifications inflammatoires dans les poumons; hyperplasie des ganglions lymphatiques bronchiques; atrophie de l'épithélium olfactif	Diminution du gain de poids à 5 et 10 mg/m^3 (mâles) et à 2,5, 5 et 10 mg/m^3 (femelles); difficultés respiratoires à 10 mg/m^3 (mâles) et à 2,5, 5 et 10 mg/m^3 (femelles).
NTP (1996c)	$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	Étude d'inhalation de 16 jours chez le rat avec des groupes de 5/sexe/dose : 0, 3,5, 7, 15, 30 ou 60 mg de $NiSO_4 \cdot 6H_2O$/m^3, 0, 0,7, 1,4, 3,1, 6,1 ou 12,2 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem, pour un total de 12 jours d'exposition	Modifications inflammatoires dans les poumons; hyperplasie des ganglions lymphatiques bronchiques et médiastinale; atrophie de l'épithélium olfactif	

Étude	Composés	Exposition	Effet principal	Commentaires / autres effets observés
Benson et al. (1988)	Ni_3S_2; MMAD = 1,3 µm, GSD = 1,5	Exposition par inhalation 6 h/j, 5 jours/semaine, 12 jours, 5 ou 10 mg/m^3 pour les souris et les rats	Mortalité de 100% chez la souris, 20% chez le rat	Lésions dans l'épithélium nasal et pulmonaire et les ganglions lymphatiques; atrophie des tissus lymphoïdes (incluant rate, thymus, lymphe bronchique) chez la souris et le rat aux deux doses.
Serita et al. (1999)	Ni 20 nm; MMAD = 1,3 µm, GSD = 1,54	Inhalation unique chez le rat (n= 60-80 rats/dose) de 0,15, 1,14 ou 2,54 mg/m^3 pendant 5 heures; rats sacrifiés à des intervalles allant jusqu'à 84 jours	Lésions pulmonaires observées à la concentration de 1,14 mg Ni/m^3	↑ poids des poumons à 1,14 et 2,5 mg/m^3; Accumulation de macrophages alvéolaires spumeux (MA) et présence de MA dégénérés indiquant une lipoprotéinose alvéolaire et calcification des MA dégénérés à la dose élevée.
Ishihara et al. (2002)	Aérosol $NiCl_2$; MMAD = 1,8 µm, GSD = 1,6	Inhalation chez le rat mâle 5 h/ j pendant 5 j à 0,85 à 0,24 mg Ni/m^3	Biomarqueurs inflammatoires dans BALF: concentration totale en protéines ↑; activité élastolytique totale ↑; capacité inhibitrice de la trypsine ↑; activité β-glucuronidase↑	Fucose ↑; acide sialique ↑; L-sélectine ↑; modification cellules totales, protéines totales, activité élastolytique totale et acide sialique.
Haley et al. (1987)	Ni_3S_2	Instillation intratrachéale chez le singe; dose finale dans les poumons de 0,06 µmol Ni/g	Diminution de l'activité phagocytaire des macrophages pulmonaires	Augmentation secondaire de la destruction des cellules MA cibles, par les cellules NK.

Étude	Composés	Exposition	Effet principal	Commentaires / autres effets observés
Toya et al. (1997)	Poudres Ni_2O_3, NiO et fumées de Ni dans les suspensions particulaires	Instillation intratrachéale chez le rat (n = 23-30/groupe); instillation unique de Ni_2O_3 de 1,4 ou 13 mg/kg, de NiO de 13 mg/kg, de Ni fumées de 3,8 ou 14,3 mg/kg; instillation répétée 4 fois de 5,9 mg/kg de fumées de nickel à intervalles de 2 semaines	Changements histopathologiques à 1,4 et 13 mg/kg Ni_2O_3 et à 14,3 mg/kg de fumées de nickel; pas de changement hitopathologique après dosage à 13 mg/kg de NiO; œdème et protéinose après dosage répété avec des fumées de nickel	Diminution du gain de poids après dosage; lésions pulmonaires caractérisées par une hyperplasie cellulaire, des cellules inflammatoires et de l'œdème dans l'espace alvéolaire; protéinose observée après administration répétée.
Nishi et al. (2009)	Nanoparticules de NiO; MMAD = 26 nm; distribution de 10-60 nm par diffusion de la lumière	Instillation intratrachéale de 0.1 mg (0.33 mg/kg) ou 0.2 mg (0.66 mg/kg) chez le rat; sacrifice à 3 jours, 1 semaine, 1 mois, 3 mois et 6 mois après instillation	Augmentation de l'inflammation et de l'expression de chimiokines (CINC-1, CINC-2αβ, CINC-3); ↑ CINC1 et CINC2αβ du jour 3 à 3 mois dans poumons et du jour 3 à 6 mois dans liquide LBA; ↑ CINC-3 au jour 3; ↑ cellulles totales et compte de neutrophiles dans liquide LBA du jour 3 à 3 mois par rapport aux témoins	CINC-3 ↑ au jour 3 puis diminue.
Jia et al. (2010)	$NiSO_4$	Instillation intranasale chez la souris de 0, 0,1, 0,5, 2,5 mg/kg pc; analyse histologique et immunochimique 1-7 j après le traitement	Toxicité nasale; diminutions dépendantes de la dose de l'épaisseur de certaines régions nasales	

6.1.2 Effets reliés à une exposition chronique et sous-chronique

6.1.2.1 Données humaines

La plupart des données disponibles sur les effets reliés à l'exposition chronique au nickel proviennent d'études chez des travailleurs (Tableau 6). Bien que les niveaux d'exposition au nickel ne soient pas rapportés dans la plupart des études sur l'exposition professionnelle, les travailleurs évalués étaient généralement exposés à des concentrations de nickel qui dépassaient largement les niveaux observés dans l'air ambiant. Le document de l'ATSDR (2005) rapporte qu'un certain nombre d'études d'exposition chronique ont examiné le potentiel du nickel et ses composés à induire des effets respiratoires chez les travailleurs. La plupart de ces études sont des études de mortalité au sein de cohortes. Dans ces études, aucune augmentation significative du nombre de décès dus à une maladie respiratoire non maligne n'a été observée (Arena et al., 1998; Cox et al., 1981; Egedahl et al., 2001; Enterline et Marsh, 1982; Redmond 1984, Roberts et al., 2009; Shannon et al., 1984; Moulin et al., 2000; Huvinen et al. 2002).

Parmi ces données, Moulin et al. (2000) ont mené une étude sur la mortalité de 4898 travailleurs de l'acier inoxydable exposés à des alliages métalliques, y compris le nickel. Aucune augmentation significative des ratios normalisés de mortalité (SMR) pour la bronchite chronique, la pneumoconiose ou d'autres effets du système respiratoire n'a été observée. De même, Egedahl et al. (2001) ont étudié l'incidence de mortalité chez les employés d'un complexe hydrométallurgique d'une raffinerie de nickel en Alberta, au Canada. Un total de 1649 hommes ayant travaillé sans interruption pendant au moins 12 mois au cours des années 1954 à 1978 ont été suivis pendant 17 années supplémentaires. L'exposition à ce processus de raffinage implique du nickel métallique plutôt que du nickel ou des sulfures solubles. Les décès observés dus à une maladie respiratoire étaient inférieurs aux attentes (SMR = 36, intervalle de confiance à 95% (IC 95%) 13 - 79). Huvinen et al. (2002) ont étudié 284 travailleurs d'une usine de ferrochrome et d'acier inoxydable. Les travailleurs à long terme (23 ans en moyenne) exposés à de faibles concentrations de poussières et de fumées contenant du molybdène (0,3 µg/m^3), du nickel (1,8 µg/m^3) et du chrome (4,7 µg/m^3) n'ont pas montré de signe de maladie respiratoire détectable par des tests de la fonction pulmonaire ou une radiographie thoracique. Pang et al. (1996) ont observé une légère augmentation, mais non statistiquement significative, du risque relatif de mortalité attribuable à des maladies non malignes du système respiratoire chez des plaqueurs de nickel exposés au $NiCl_2$ et au $NiSO_4$. Le risque relatif après ajustement pour l'âge, la période de suivi et le travail de nickel au début de l'année était de 1,59 (IC à 95%, 0,58 à 4,36). L'étude est limitée par le faible nombre de sujets (248 sujets au total) et d'expositions relativement courtes au nickel soluble (moyenne = 2,1 ans, médiane de 0,86 an).

Quelques études ont examiné les associations entre l'exposition au nickel et d'éventuels effets respiratoires non létaux chez les travailleurs. Deux études ont examiné des radiographies thoraciques des travailleurs. Une de ces études a révélé un risque accru de fibrose pulmonaire modérée (Berge et Skyberg, 2003) et l'autre n'a montré aucune altération significative (Muir et al., 1993). Plus précisément, dans une étude réalisée chez 1 046 travailleurs d'une raffinerie, Berge et Skyberg (2003) ont rapporté des signes d'augmentation des anomalies pulmonaires, évaluées par radiographie, suite à une exposition accrue au nickel soluble ou sulfuré, bien que le nombre de cas était relativement faible (47/1046) et que les effets étaient relativement légers. Les concentrations d'exposition aux différentes formes de nickel (moyenne annuelle ± SD) étaient de 5,59 ± 11,73, 1,43 ± 2,23, 0,55 ± 1,19, 3,09 ± 8,54 et 0,52 ± 1,35 mg/m^3, respectivement pour le Ni total, Ni soluble, Ni sulfhydrique, Ni oxyde et Ni métallique. Pour l'analyse de la dose-réponse, les expositions moyennes utilisées pour le nickel sulfuré étaient

de 0,03 (254 sujets), 0,27 (237), 1,03 (282) et 4,32 (263) mg/m^3 an. Pour le nickel soluble, les expositions moyennes étaient de 0,01 (264), 0,08 (237), 0,33 (282) et 1,73 (263) mg/m^3 an. Pour l'exposition au nickel soluble, le ratio de probabilités brutes de fibrose pulmonaire était de 4,34 (IC à 95%, 1,75 - 10,77). Le risque ajusté pour l'âge, le tabagisme, l'amiante et le nickel sulfuré était de 2,24 (IC à 95%, 0,82 - 6,16) avec une relation dose-réponse. Les valeurs brutes correspondantes pour le nickel sulfuré étaient de 5,06 (IC 95%, 1,70 - 15,09) et ajustées de 2,04 (IC à 95%, 0,54 - 7,70); dans ce dernier cas, la variable nickel sulfuré a été remplacée par du nickel soluble.

Dans l'étude de Muir et al. (1993) chez 149 travailleurs d'une usine de frittage de nickel, l'inhalation professionnelle de poussières de nickel n'a pas été associée à une fibrose pulmonaire bien qu'une augmentation des opacités pulmonaires irrégulières ait été observée chez les travailleurs avec un historique d'exposition professionnelle de plus de 5 ans. Par ailleurs, Broder et al. (1989) n'ont trouvé aucun effet significatif sur la fonction pulmonaire associé à l'exposition au nickel dans une fonderie de nickel.

Par ailleurs, les documents du OEHHA (2012, 2013) rapportent qu'un certain nombre d'études indiquent que l'exposition professionnelle par inhalation aux aérosols de nickel peut entraîner le développement d'un asthme spécifique au nickel. Davies (1986) a trouvé 3 cas d'asthme chez 53 travailleurs du nickelage sans antécédents d'asthme avant leur emploi. Fernandez-Nieto et al. (2006) ont rapporté des résultats obtenus chez quatre patients souffrant d'asthme lié au travail en raison d'une exposition à des sels métalliques. Deux sujets provenaient d'usines où le dichromate de potassium et le sulfate de nickel étaient utilisés pour la galvanoplastie, un autre travaillait dans une cimenterie (dichromate de potassium) et un était un soudeur exposé aux vapeurs métalliques, y compris des vapeurs de nickel et de chrome. Tous les patients montraient une hyperréactivité bronchique à la méthacholine, 24 heures après l'épreuve avec des sels métalliques. La provocation au sulfate de nickel a conduit à une réponse positive à une concentration de 10 mg/ml de méthacholine chez le sujet 1 travaillant dans une usine de placage électrolytique et à une concentration de 0,1 mg/ml chez le sujet 2 travaillant dans une cimenterie.

Des cas spécifiques ont aussi été rapportés. En particulier, Novey et al. (1983) ont décrit des effets au niveau des bronches chez un travailleur exposé à des sels de nickel et de chrome. Dans un autre cas, des études immunologiques menées chez un homme de 24 ans ont montré des anticorps spécifiques au nickel dans le sérum après plusieurs semaines de travail dans un atelier de nickelage où le sulfate de nickel était utilisé (McConnell et al., 1973). Sa fonction pulmonaire était significativement altérée par rapport à un sujet témoin et aux valeurs normales. Ce travailleur a signalé une dyspnée, une toux, une oppression thoracique et une respiration sifflante pendant la période de travail.

Il est à noter que Sivulka et al. (2007) ont examiné la littérature sur l'exposition au nickel et les maladies respiratoires non malignes et ont suggéré que l'absence d'observation de toxicité pulmonaire franche chez les travailleurs exposés au nickel pourrait être liée à la taille des particules à laquelle les travailleurs étaient exposés. Les auteurs soulignent que dans les études sur les rats montrant des lésions pulmonaires, les expositions ont été faites avec des particules respirables qui peuvent atteindre les régions non ciliées des voies respiratoires (diamètre < 4 µm) tandis que les expositions professionnelles incluent des particules de plus grand diamètre non respirables.

En ce qui concerne les effets d'une exposition chronique au nickel par inhalation chez des travailleurs sur des organes autres que le système respiratoire, très peu d'études sont

disponibles. Néanmoins, Vyskocil et al. (1994) ont montré la présence de lésions rénales, telles qu'évaluées à partir de marqueurs biochimiques chez 26 travailleurs (14 hommes et 12 femmes) fortement exposés à des composés de nickel solubles dans une usine chimique. Ces résultats indiquent des effets nocifs des composés de nickel solubles sur la fonction tubulaire du rein. Les auteurs mentionnent que ces données sont en accord avec les données disponibles dans la littérature, car il semble que ces effets se produisent uniquement à des niveaux d'exposition élevés.

Tableau 6 – Sommaire de données de toxicité chronique du nickel chez l'humain (adapté de OEHHA, 2012)

Étude	Composés	Population et exposition	Effet principal
Berge et Skyberg (2003)	Ni soluble, Ni sulfurique	Travailleurs de raffinerie de nickel (n = 1046); 47 cas sur 1046 travailleurs. Expositions moyennes pour le nickel sulfuré: 0,03 (254 sujets), 0,27 (237), 1,03 (282) et 4,32 (263) mg/m^3 an. Expositions moyennes pour le nickel soluble: 0,01 (264), 0,08 (237), 0,33 (282) et 1,73 (263) mg/m^3 an	Pour l'exposition au nickel soluble, ratio de probabilités brutes de fibrose pulmonaire de 4,34 (IC à 95%, 1,75 - 10,77); risque ajusté pour l'âge, le tabagisme, l'amiante et le nickel sulfuré était de 2,24 (IC à 95%, 0,82 - 6,16) avec une relation dose-réponse. Valeurs brutes correspondantes pour le nickel sulfuré de 5,06 (IC 95%, 1,70 - 15,09) et ajustées de 2,04 (IC à 95%, 0,54 - 7,70); les mêmes variables sont utilisées pour ces dernières valeurs ajustées, sauf que le nickel sulfuré était remplacé par du nickel soluble.
Fernandez-Nieto et al. (2006)	$NiSO_4$, $K_2Cr_2O_7$	Patients souffrant d'asthme lié au travail (n = 4) en raison d'une exposition à des sels métalliques. Deux sujets d'usines où le dichromate de potassium et le sulfate de nickel utilisés pour la galvanoplastie; un travailleur de cimenterie (dichromate de potassium); un soudeur exposé aux vapeurs métalliques	Hyperréactivité bronchique à la méthacholine, 24 heures après l'épreuve avec des sels métalliques; provocation au sulfate de nickel a conduit à une réponse positive à une concentration de 10 mg/ml de méthacholine chez le sujet 1 travaillant dans une usine de placage électrolytique et à une concentration de 0,1 mg/ml chez le sujet 2 travaillant dans une cimenterie.
Pang et al. (1996)	$NiCl_2$, $NiSO_4$	Plaqueurs de nickel (n = 248); exposition moyenne de 2,1 ans; médiane = 0,86 an.	Mortalité due à des maladies non-malignes des voies respiratoires; RR ajusté = 1,59 (IC à 95% = 0,58-4,36).
Moulin et al. (2000)	Alliages métalliques incluant le Ni	Travailleurs de l'acier (n = 4898)	Aucune augmentation significative des ratios normalisés de mortalité (SMR) pour la bronchite chronique, la pneumoconiose ou d'autres effets du système respiratoire.
Yoshioka et al. (2008)	Ni, Cd	Travailleurs de batterie Ni-Cd (n = 66)	Corrélation entre les niveaux de 8-OHdG et les niveaux de Ni urinaire et de cadmium sanguin.

D'autre part, Yoshioka et al. (2008) ont évalué l'effet de l'exposition au Ni-Cd chez des travailleurs de production de batterie sur les niveaux de marqueurs de stress oxydants (8-hydroxy-désoxyguanosine (8-OHdG). Une corrélation a été observée entre les niveaux de 8-OHdG a été observée et les niveaux de Ni urinaire et de cadmium sanguin. La signification de ces résultats reste à vérifier.

Par ailleurs, au niveau de la population générale, très peu de données sur les effets chroniques associés à l'exposition au nickel sont disponibles. Toutefois, Mann et al. (2010) ont mené une étude transversale sur l'exposition au nickel dans l'air et la sensibilisation au nickel chez 309 enfants de 6 ans de trois villes de Rhénanie du Nord-Westphalie (environ 100 sujets de chaque ville). Deux des villes se trouvaient à proximité d'aciéries (Duisburg et Dortmund) et une dans une zone rurale (Borken). Les données sur la qualité de l'air ambiant et la modélisation de la dispersion des particules ont été utilisées pour estimer les concentrations atmosphériques annuelles moyennes individuelles. L'évaluation de l'exposition interne au nickel a été réalisée par analyse d'échantillons d'urine du matin. La teneur en nickel de l'eau potable a également été analysée en tant que facteur de confusion potentiel. La sensibilisation au nickel a été mesurée par un test cutané. Une corrélation faible mais significative ($r = 0,256$, IC95% = 0,137-0,375, $P < 0,001$) a été observée entre les concentrations de nickel dans l'air ambiant et celles observées dans l'urine (test de corrélation de Pearson sur les valeurs log-transformées). De plus, une comparaison des concentrations de nickel dans l'air ambiant entre les enfants sensibilisés et non sensibilisés a montré une association entre l'exposition au nickel chez les enfants de la ville de Duisburg et la sensibilisation au nickel (test de Mann-Whitney: $P = 0,094$). Une association similaire n'a pas été vue pour les enfants de Dortmund. Par ailleurs, dans l'ensemble, les concentrations de nickel dans l'urine des enfants sensibilisés étaient plus élevées que chez les enfants non sensibilisés ($p < 0,001$). Les enfants dont le Ni urinaire ou dans l'air ambiant était inférieur à la médiane présentaient une prévalence de la sensibilisation au Ni plus élevée que les enfants dont les deux niveaux étaient inférieurs à la médiane (test X2: $P = 0,109$). Les auteurs ont conclu que le nickel dans l'air ambiant pourrait être un facteur de risque pour la sensibilisation au nickel, mais une étude plus large est nécessaire.

6.1.2.2 Données animales

Plusieurs études sur les animaux (NTP 1996a, 1996b, 1996c; Ottolenghi et al., 1974) ont évalué la toxicité non cancérogène du sulfate de nickel, du chlorure de nickel, du sulfure de nickel et de l'oxyde de nickel. L'OEHHA (2012) synthétise aussi les principales études de toxicité animale (Tableau 7). Ces études ont révélé des modifications inflammatoires des poumons (NTP 1996a, 1996b, 1996c; Ottolenghi et al., 1974), une atrophie de l'épithélium nasal olfactif (NTP 1996b, 1996c), des lésions rénales (Vyskocil et al. 1994), une diminution du gain de poids corporel, probablement associée à une altération de la fonction pulmonaire et une atteinte des ganglions lymphatiques bronchiques (NTP, 1996a, 1996b, 1996c).

Comme pour les expositions de courte et de moyenne durée, l'exposition chronique au sulfate de nickel, au sous-sulfure de nickel ou à l'oxyde de nickel a entraîné une inflammation pulmonaire chronique. Les études du National Toxicology Program (NTP) (1996a, 1996b, 1996c) sont parmi les plus citées dans les revues sur l'évaluation de la toxicité de nickel, notamment celles du California EPA (OEHHA 2012, 2013) et de l'ATSDR (2005).

Une première étude d'inhalation chronique sur deux ans a été effectuée par le NTP chez des rats et souris exposés à des aérosols de particules d'oxyde de nickel respirables (NTP, 1996a). Des rats F344/N (65 par sexe et par groupe) ont été exposés à des concentrations de 0, 0,62,

1,25 ou 2,5 mg d'oxyde de nickel/m^3, équivalentes à 0, 0,5, 1,0 ou 2,0 mg Ni/m^3, 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 104 semaines (diamètre aérodynamique massique médian (MMAD) = 2,8 µm, écart type géométrique (GSD) = 1,87, densité = 7,45 g/cm^3). Les effets chroniques non cancérogènes et cancérogènes ont ensuite été observés. En plus des effets cancérigènes de l'oxyde de nickel, un certain nombre de lésions non cancéreuses ont été observées chez les rats, en particulier dans les poumons. L'incidence de pigmentation inflammatoire dans les alvéoles était significativement plus élevée dans tous les groupes de rats exposés (y compris à la plus faible dose administrée de 0,5 mg Ni/m^3), par rapport aux témoins. La gravité des lésions augmentait avec l'augmentation de l'exposition. Une hyperplasie alvéolaire atypique a également été observée dans tous les groupes de rats exposés. Une hyperplasie lymphoïde a été observée dans les ganglions lymphatiques bronchiques des rats mâles et femelles exposés à 1 mg Ni/m^3 ou plus à 7 et 15 mois et l'incidence augmentait généralement avec l'augmentation de la concentration à la fin de l'étude de 2 ans. Les rats femelles présentaient une incidence accrue d'hyperplasie médullo-surrénalienne à tous les niveaux d'expositions à l'oxyde de nickel. Les poids corporels des rats étaient significativement plus faibles dans les groupes exposés à 2,0 mg Ni/m^3 pour les deux sexes et chez les mâles exposés à 1,0 mg Ni/m^3.

Dans cette première étude du NTP (1996a), des souris B6C3F1 (74-79 par sexe et par groupe) ont été exposées de façon similaire aux rats, à des concentrations de 0, 1,25, 2,5 et 5 mg/m^3 d'oxyde de nickel, équivalentes à 0, 1,0, 2,0 ou 3,9 mg Ni/m^3. Les résultats ont montré des changements inflammatoires pulmonaires similaires à ceux observés chez les rats, en plus d'une incidence plus élevée de pigmentation de la région alvéolaire à toutes les concentrations d'exposition par rapport aux témoins. Une hyperplasie des ganglions lymphatiques bronchiques était également évidente chez toutes les souris exposées au nickel. Le poids corporel des souris était légèrement mais significativement plus faible dans le groupe exposé à 3,9 mg Ni/m^3, comparativement aux témoins.

Une seconde étude d'inhalation chronique sur deux ans a été réalisée par le NTP chez des rats et souris exposés à des aérosols de particules de sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2) (NTP 1996b). Des rats Fischer 344/N (63 par sexe et par groupe) ont été exposés à 0, 0,15 ou 1 mg Ni_3S_2/m^3 (0, 0,11 ou 0,73 mg Ni/m^3), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 104 semaines (MMAD = 2,54 µm, GSD = 2,1, densité = 5,82 g/cm^3). Une incidence significativement plus élevée d'inflammation pulmonaire, d'hyperplasie alvéolaire, d'hyperplasie des macrophages et de fibrose pulmonaire a été observée chez les rats exposés aux deux concentrations de nickel par rapport aux témoins. Les rates exposées au nickel présentaient aussi une augmentation significative de l'hyperplasie médullo-surrénale. En plus des lésions pulmonaires, une inflammation nasale et une atrophie olfactive de l'épithélium ont été observées chez les deux sexes exposés à 0,73 mg Ni/m^3. Les poids corporels étaient aussi significativement plus faibles chez les rats exposés à 0,73 mg Ni/m^3 par rapport aux témoins.

Dans cette deuxième étude du NTP (1996b), des souris B6C3F1 (80 par sexe et par groupe) ont été exposées à 0, 0,6 ou 1,2 mg Ni_3S_2/m^3 (0, 0,44, ou 0,88 mg Ni/m^3), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 104 semaines. Les mêmes lésions pathologiques dans les poumons et les voies nasales que celles observées chez les rats ont été rapportées. Ces lésions étaient évidentes aussi bien aux concentrations de 0,44 mg Ni/m^3 que de 0,88 mg Ni/m^3. L'hyperplasie médullo-surrénalienne observée chez les rats femelles n'a pas été observée chez les souris.

Une troisième étude d'inhalation chronique sur deux ans a été réalisée par le NTP chez des rats et souris exposés à des aérosols de particules de sulfate de nickel hexahydraté ($NiSO_4$) respirables (NTP 1996c). Des rats Fischer 344 (63-65 par sexe et par groupe) ont été exposés

à 0, 0,12, 0,25 ou 0,5 mg $NiSO_4/m^3$ (0, 0,03, 0,06 ou 0,11 mg Ni/m^3), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 16 jours à 104 semaines (MMAD = 2,50 µm, GSD = 2,38, densité = 2,07 g/cm^3). Des évaluations intermédiaires ont été faites à 16 jours et 13 semaines, et à 7 et 15 mois. Les effets chroniques de l'exposition au nickel chez les rats comprenaient des lésions inflammatoires dans les poumons, une hyperplasie des macrophages pulmonaires, une protéinose alvéolaire et une fibrose, en plus d'une hyperplasie des ganglions lymphatiques bronchiques et de l'atrophie épithéliale nasale. À partir de 13 semaines d'exposition chez les rats mâles et femelles exposées à 0,25 et 0,5 mg $NiSO_4/m^3$, c'est-à-dire 0,06 et 0,11 mg Ni/m^3, l'incidence d'inflammation active chronique (accumulations multifocales, minimes à légères de macrophages, de neutrophiles et de débris cellulaires dans les espaces alvéolaires), d'hyperplasie des macrophages (de sévérité minime à légère habituellement avec un cytoplasme pâle vacuolisé abondant) dans les espaces alvéolaires, de protéinose (quantités minimes ou légères de matière pâle, acellulaire, protéique homogène granulaire ou globulaire éosinophile) dans les espaces alvéolaires et de fibrose était nettement augmentée. L'hyperplasie épithéliale focale alvéolaire était aussi légèrement augmentée chez les rates exposées à 0,5 mg $NiSO_4/m^3$, c'est-à-dire 0,11 mg Ni/m^3. Aucun effet respiratoire indésirable n'a été observé à 0,03 mg Ni/m^3.

Dans cette troisième étude du NTP (1996c), des souris B6C3F1 (80 par sexe et par groupe) ont été exposées de façon similaire à 0, 0,25, 0,5 et 1 mg/m^3 de sulfate de nickel hexahydraté, équivalent à 0, 0,06, 0,11 et 0,22 mg de Ni/m^3 (NTP, 1996c). Des modifications pulmonaires, lymphatiques et nasales similaires à celles observées chez les rats ont été rapportées. Aucune fibrose n'a pas été rapportée chez les souris, mais une incidence accrue d'infiltration interstitielle et de protéinose alvéolaire a été observée à des concentrations supérieures ou égales à 0,11 mg Ni/m^3. Aucune constatation clinique ou effet hématologique n'a été observé chez les souris, mais les poids corporels étaient significativement diminués chez tous les groupes de souris femelles exposées au nickel. Les poids corporels des souris mâles étaient réduits seulement dans le groupe exposé à 0,22 mg Ni/m^3.

En somme, bien que les effets étaient similaires chez les souris et les rats, les valeurs de seuil de toxicité observés (« lowest-observed effect level » ou LOAEL) étaient plus élevées que pour les rats. L'étude du NTP sur le sulfate de nickel par ailleurs a identifié la plus faible LOAEL pour les effets respiratoires non néoplasiques (non cancéreux), soit une concentration de 0,06 mg Ni/m^3 (NTP 1996c).

Selon des rapports de grands organismes, bien que les effets pulmonaires non néoplasiques observés dans les études animales mentionnées dans les études du NTP comme la protéinose alvéolaire aient été relativement bénins, des effets similaires chez les humains peuvent être graves, voire mortels (Rosen et al. 1958; Seymour et Presneill, 2002). Ce type de protéinoise a été décrit comme pouvant avoir une évolution clinique variable allant de la résolution spontanée à la mort avec pneumonie ou insuffisance respiratoire (Seymour et Presneill, 2002). Par ailleurs, un mécanisme immunologique possible de la protéinose alvéolaire humaine est compatible avec l'immunotoxicité et la pneumotoxicité, induites par le nickel, telles qu'observées dans les études sur les rongeurs (Kitamura et al. 1999).

Glaser et al. (1986) ont également rapporté de graves lésions pulmonaires et une mortalité prématurée chez des rats (20-40 par groupe) exposés de façon continue à 0, 0,060 et 0,2 mg Ni/m^3 d'oxyde de nickel pendant deux ans, de sorte que la cancérogenèse n'a pu être évaluée. Une protéinose alvéolaire pulmonaire et une fibrose septale ont été observées chez les animaux exposés au nickel. Un seul rat par groupe a survécu aux expositions au nickel jusqu'à la fin de l'expérience.

Ottolenghi et al. (1974) ont de plus montré une diminution du poids corporel, de l'hyperplasie, de la métaplasie et de la néoplasie dans les poumons de rats suite à une exposition à 0,97 mg Ni_3S_2/m^3 (0 ou 0,71 mg Ni/m^3), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 78-80 semaines.

Dans une étude sous-chronique, Dunnick et al. (1989) ont rapporté des lésions histologiques chez des rats et des souris (n = 10 par groupe) exposés au sulfate de nickel, au sous-sulfure de nickel ou à l'oxyde de nickel à des concentrations de 0,02, 0,05, 0,1 mg Ni/m^3, 6 heures/ jour, 5 jours/semaine, pendant 13 semaines. Pour toutes les concentrations d'exposition et les deux formes de nickel ainsi que chez les deux espèces, les lésions histologiques se caractérisaient par des modifications inflammatoires, une fibrose et une hyperplasie des macrophages alvéolaires. Des lésions nasales ont également été observées chez des animaux traités au sulfate de nickel ou au sous-sulfure de nickel. Des changements de poids pulmonaire ont été observés à des expositions de 0,05 mg Ni/m^3 ou plus chez les rats femelles. Une hyperplasie des macrophages dans la région alvéolaire a été observée à des concentrations aussi faibles que 0,02 mg Ni/m^3. D'autres types de lésions inflammatoires ont été observées dans les poumons à 0,1 mg Ni/m^3.

Tanaka et al. (1988) ont exposé des rats Wistar mâles (n = 5/groupe de dose) à des aérosols d'oxyde de nickel (NiO) vert à des concentrations moyennes de 0,3 et 1,2 mg/m^3 (MMAD = 0,6 um), 7 heures/jour, 5 jours/semaine pendant jusqu'à 12 mois. Les rats ont été sacrifiés à 3, 6 et 12 mois d'exposition et 8 mois après une exposition de 12 mois afin d'effectuer un examen histopathologique. La teneur en nickel dans les poumons de rats atteignait 2,6 mg et 0,6 mg après 12 mois d'exposition aux concentrations élevées et faibles, respectivement. Une incidence plus élevée des lésions chez les animaux exposés par rapport aux animaux témoins a été observée, incluant une pneumonie pour toutes les durées d'exposition aux faibles et fortes concentrations et une métaplasie bronchiolaire et une adénomatose à 12 mois aux faibles et fortes concentrations.

Oller et al. (2008) ont évalué les effets d'une exposition chronique par inhalation (corps entier) à des aérosols de nickel métallique chez des rats Wistar (n = 50/sexe/groupe de dose) à 0, 0,1, 0,4 et 1 mg Ni/m^3 (MMAD = 1,8 µm, GSD = 2,4), 6 heures/jour, 5 jours/semaine jusqu'à 24 mois. Une mortalité élevée a été observée dans le groupe exposé à 1 mg de Ni/m^3. Aucun niveau sans effet néfaste observé (« no-observed adverse effect level » ou NOAEL) n'a été observé. Au niveau des voies respiratoires, une protéinose alvéolaire, de l'histiocytose alvéolaire, de l'inflammation chronique, de l'hyperplasie bronchiolo-alvéolaire et de l'infiltrat des ganglions lymphatiques bronchiques ont été observés à toutes les concentrations d'exposition. Pour les deux sexes, des lésions aux niveaux d'organes autres que le site d'entrée ont également été observées, incluant des lésions rénales (pigment brun granulaire dans les reins), une hématopoïèse extramédullaire au niveau de la rate et une hypercellularité du sternum et des anomalies au niveau de l'os fémoral. À l'évaluation à 78 semaines, une augmentation significative du nombre moyen de globules rouges, du taux d'hémoglobine (Hb) et d'hématocrite a été observée aux concentrations de 0,1 et 0,4 mg Ni/m^3 chez les mâles et à 0,4 mg Ni/m^3 chez les femelles. D'autres auteurs ont rapporté un effet direct du nickel sur l'expression génique de l'érythropoïétine (Salnikow et al., 2002).

Ogami et al. (2009) ont évalué la toxicité de deux différentes tailles de particules d'oxyde de nickel (NiO) après instillation intratrachéale chez des rats Wistar (n = 25 par groupe), soit des particules de diamètre médian de 0,8 µm ou 4,8 µm. Les distributions de particules étaient bimodales ou trimodales, respectivement. Les animaux ont été sacrifiés à trois jours, une semaine, un mois, trois et six mois après l'instillation des particules et le liquide du lavage

bronchoalvéolaire (LBA) a été prélevé pour la mesure des cellules totales et des leucocytes polymorphonucléaires (PMN). Le nombre de cellules totales et le pourcentage de PMN dans le liquide de LBA du groupe exposé aux particules fines de <0,8 µm était significativement plus élevé que dans le groupe témoin. Les résultats suggèrent que l'oxyde de nickel submicrométrique est significativement plus toxique pour le poumon que l'oxyde de nickel micrométrique. Les effets observés étaient similaires à ceux provoqués par une administration de silice cristalline, mais moins persistants.

Tableau 7 – Sommaire de données de toxicité chronique du nickel chez l'animal (adapté de OEHHA, 2012)

Étude	Composés	Exposition	Effet principal	Commentaires / autres effets observés
NTP (1996a)	NiO; MMAD = 2,21, 2,23, 2,21 µm, GSD = 1,97, 1,89, 1,80, densité = 7,45 g/cm^3	Étude d'inhalation de 2 ans chez le rat, 65/sexe/dose par groupe; 0, 0,62, 1,25, 2,5 mg de NiO/m^3 0, 0,5, 1,0, 2,0 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem, 104 semaines	Lésions des poumons; hyperplasie épithéliale alvéolaire atypique dose-dépendante chez les mâles et les femelles; inflammation chronique du poumon chez la plupart des animaux exposés pendant ≥ 7 mois	Pigmentation dans les alvéoles des rats exposés; pigmentation des ganglions lymphatiques bronchiques semblables aux poumons excepté chez les rats exposés à 0,62 mg/m^3 durant 7 mois.
NTP (1996a)	NiO; MMAD = 2,46, 2,42, 2,55 µm, GSD = 1,87, 1,81, 1,76, densité = 7,45 g/cm^3	Étude d'inhalation durant 2 ans chez la souris avec des groupes de 74-79/sexe/dose; 0, 1,25, 2,5, ou 5,0 mg de NiO/m^3, 0, 1,0, 2,0, 3,9 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem, 104 semaines	Lésions des poumons; inflammation chronique accrue avec l'exposition chez les mâles et les femelles exposés durant ≥ 7 mois; à 2 ans incidence d'inflammation chronique, hyperplasie épithéliale alvéolaire et des protéinose plus graves chez les souris exposées à dose élevée	Pigments dans les poumons augmentent avec la concentration d'exposition à ≥ 7 mois; hyperplasie lymphoïde dose et temps - dépendant augmente chez les mâles et les femelles; taux de Ni dans les poumons à 15 mois atteint 331 à 2258 µg/g de poumons (dépendant de la dose et du temps).
NTP (1996b)	Ni_3S_2; MMAD = 2,17, 2,03 µm, GSD = 2,34, 1,95, densité = 5,82 g/cm^3	Étude d'inhalation de 2 ans avec des groupes de rats, 63/sexe/dose; 0, 0,15, ou 1,0 mg de Ni_3S_2/m^3, 0, 0,11 ou 0,73 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem, 104 semaines	Lésions des poumons; inflammation, hyperplasie alvéolaire, hyperplasie des macrophages, fibrose pulmonaire; diminution du poids corporel à dose élevée	Augmentation significative de l'hyperplasie médullaire adrénale chez les femelles; inflammation nasale et atrophie épithéliale olfactive observées dans les deux sexes à 0,73 mg de Ni/m^3.

Étude	Composés	Exposition	Effet principal	Commentaires / autres effets observés
NTP (1996b)	Ni_3S_2; MMAD = 2,24, 2,18 µm, GSD = 1,98, 1,91, densité = 5,82 g/cm^3	Étude d'inhalation de deux ans chez les souris, groupe de 80 souris/sexe/dose; 0, 0,6, ou 1,2 mg de Ni_3S_2/m^3, 0, 0,44, ou 0,88 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem, 104 semaines	Lésions des poumons; inflammation, hyperplasie alvéolaire, hyperplasie de macrophage, fibrose pulmonaire.	Inflammation nasale et atrophie épithéliale olfactive observées dans les deux sexes à 0,88 mg de Ni/m^3.
NTP (1996c)	$NiSO_4$•$6H_2O$; MMAD = 2,50, 2,24, 2,25 µm, GSD = 2,38, 2,21, 2,08, densité = 2,07 g/cm^3	Étude d'inhalation de deux ans chez les rats avec 63-65/sexe/dose par groupe; 0, 0,12, 0,25 ou 0,5 mg de $NiSO_4$/m^3, 0, 0,03, 0,06 ou 0,11 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem, 104 semaines	Lésions des poumons, des ganglions lymphatiques et lésions nasales; inflammation pulmonaire active, hyperplasie des macrophages, protéinose alvéolaire, fibrose, hyperplasie des ganglions lymphatiques, atrophie épithéliale olfactive.	
NTP (1996c)	$NiSO_4$•$6H_2O$; MMAD = 2,34, 2,27, 2,53 µm, GSD = 2,24, 2,07, 2,02, densité = 2,07 g/cm^3	Étude d'inhalation de 2 ans chez les souris avec 80 souris/sexe/dose par groupe; 0, 0,25, 0,5 ou 1,0 mg de $NiSO_4$/m^3, 0, 0,06, 0,11 ou 0,22 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem, 104 semaines	Lésions des poumons; inflammation active chronique, bronchialisation, hyperplasie des macrophages, infiltration interstitielle, protéinose alvéolaire, à dose élevée chez les deux sexes et chez les femelles à 0,11 mg de Ni/m^3	

Étude	Composés	Exposition	Effet principal	Commentaires / autres effets observés
Oller et al. (2008)	Poudre de métal de Ni MMAD = 1,8µm GSD = 2,4	Étude d'inhalation de 2 ans chez les rats avec rats 50 rats/sexe/dose par groupe; 0, 0,1, 0,4, 1,0 mg de Ni/m^3, 6 h/j, 5 j/sem pendant 24 mois	Lésions pulmonaires avec protéinose alvéolaire, histiocytose alvéolaire et inflammation chronique ou active chronique, hyperplasie bronchiolo-alvéolaire; infiltration dans les ganglions lymphatiques bronchiques; la plupart des effets sont observés chez les deux sexes	Mortalité élevée à 1 mg de Ni/m^3; Pigments granulaires bruns dans les reins; hématopoïèse extramédullaire dans la rate et hypercellularité du sternum et de la moelle osseuse fémorale
Glaser et al. (1986)	Ni (forme et taille non spécifiée)	Étude d'inhalation de 2 ans chez les rats (n = 20-40 rats /dose par groupe); exposition continue à 0, 60, 200 µg de Ni/m^3	Mortalité et dommages pulmonaires graves; protéinose pulmonaire alvéolaire, fibrose septale	Seulement 1 rat exposé au Ni a survécu pendant les 2 années.
Tanaka et al. (1988)	Aérosols de NiO (vert) MMAD = 0,6 µm	Groupe de rats mâles Wistar (n = 5/dose); Inhalation de 0, 0,3 ou 1,2 mg/m^3, 7 h/j, 5 j/sem jusqu'à 12 mois; sacrifice à 3, 6 et 12 mois d'exposition et étude de clairance de 8 après les 12 mois d'exposition	Teneur en Ni dans les organes et histopathologie du poumon; lésions des poumons à 12 mois et pneumonie à 0,3 mg/m^3; bronchite avec hyperplasie atypique de la glande, métaplasie bronchiolaire, adénomatose à 1,2 mg/m^3.	Après une période de clairance de 8 mois suivant une exposition de 12 mois : aucune lésion du poumon dans le groupe exposé à la faible dose; incidence plus faible de bronchite et de métaplasie bronchique et aucune adénomatose observée à la dose élevée.

Morimoto et al. (1995) ont étudié les effets de l'oxyde de nickel (vert) (MMAD = 2,7 µm, GSD = 2,3) sur la production de facteur de nécrose tumorale (TNF) par les macrophages alvéolaires chez des rats Wistar mâles exposés à 11,7 ± 2,0 mg NiO/m^3, 8 heures/jour, 5 jours/semaine, pendant 4 semaines comparativement à un groupe témoins (n = 5 par groupe). Un lavage broncho-alvéolaire (LBA) a été effectué et les macrophages alvéolaires récupérés ont été testés pour la production de TNF. L'exposition aux oxydes de nickel a produit une concentration trois fois plus élevée de TNF par les macrophages chez les rats exposés par rapport aux témoins. De plus, la libération de phosphatase acide et de lactate déshydrogénase (LDH) par les macrophages était également significativement plus élevée chez les rats exposés comparativement aux témoins, ces deux molécules étant des biomarqueurs de cytotoxicité. Les concentrations d'exposition étaient toutefois élevées.

6.2 Effets suite à une exposition indirecte ou autre que l'inhalation

6.2.1 Données humaines

Les données humaines sur des effets respiratoires d'une exposition autre que par voie respiratoire sont limitées. Par contre, les effets associés à l'exposition au nickel par des voies ou médiums autres que l'inhalation ou l'air ont été rapportés par plusieurs organismes gouvernementaux. L'essentiel est résumé brièvement dans cette section. L'European Chemicals Agency (ECHA 2017, 2018) résume notamment des études ayant rapporté des effets de l'exposition orale au nickel chez l'humain sur le système gastro-intestinal, hématologique, neurologique et immunitaire. Les effets les plus signalés suite à une exposition aiguë par voie orale sont des symptômes gastro-intestinaux et neurologiques. Des études ont aussi rapporté une sensibilisation au nickel suite à des expositions par la peau. Alors que l'exposition orale au nickel n'est pas connue pour entraîner une sensibilisation, l'absorption orale de nickel est capable d'induire des réactions eczémateuses au niveau de la peau chez les individus sensibilisés au nickel.

La létalité aiguë du nickel après exposition par voie orale dépend de la forme chimique du nickel. Un cas mortel d'empoisonnement au nickel a été rapporté chez une fillette de 2 ans qui avait ingéré 15 g de sulfate de nickel (570 mg/kg pc) (Daldrup et al., 1983); la cause du décès était un arrêt cardiaque. Des nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées, maux de tête, toux, essoufflements et étourdissements ont été signalés chez 20 des 32 travailleurs d'une usine de galvanoplastie qui ont bu de l'eau contaminée par des formes solubles du nickel, soit du chlorure de nickel et du sulfate de nickel (Sunderman et al., 1988). Les doses de nickel ont été estimées entre 0,5 et 2,5 g, les concentrations sériques de nickel mesurées variaient entre 13 et 1340 µg/l et les concentrations urinaires entre 0,15 à 12 mg/g de créatinine. Les signes et les symptômes de toxicité ont duré jusqu'à 2 jours et l'ensemble des travailleurs ont récupéré de cet incident. Webster et al. (1980) ont également rapporté des nausées, vomissements, faiblesses, céphalées et palpitations chez 23 patients après une exposition iatrogène (injection, orthopédie, prothèse, implants, etc.) à des niveaux élevés de nickel pendant l'hémodialyse due à la lixiviation d'un réservoir de chauffe-eau en acier inoxydable plaqué au nickel. Les symptômes ont été observés à des concentrations plasmatiques de nickel d'environ 3 mg Ni/l et ont disparu 3 à 13 heures suivant l'arrêt de la dialyse.

Des cas de dermatites ont aussi été rapportés chez des travailleurs exposés de façon répétée au nickel (Davies, 1986). L'ion nickel, lié aux protéines dans le derme, agit comme un antigène

provoquant une réponse d'hypersensibilité dermique de type IV médiée par les lymphocytes T (type retardé), qui peut être diagnostiquée par des tests épicutanés (Menne et Maibach, 1989).

Au niveau de la population générale, le document de l'ATSDR (2005) rapporte que la sensibilité au nickel est une forme d'hypersensibilité retardée que l'on retrouve chez 10 à 20% de la population. Certains individus sont prédisposés à cette sensibilité. Une augmentation significative des antigènes leucocytaires humains (HLA), un facteur de susceptibilité génétique, a été observée chez des individus ayant une dermatite de contact due au nickel par rapport aux individus sans antécédent d'atopie ou de dermatite de contact. Le risque relatif pour les individus ayant l'allèle HLA-DRw6 menant à une sensibilité au nickel a été estimé à 3,3. La sensibilisation au nickel implique généralement un contact prolongé initial avec le nickel ou une exposition à une très forte dose de nickel. Dans la population générale, le contact initial avec le nickel provient souvent du perçage corporel avec des bijoux qui libèrent une grande quantité d'ions nickel. La dermatite qui en résulte, est une réaction inflammatoire médiée par l'hypersensibilité de type IV, et se produit généralement sous l'objet métallique. Lorsqu'un individu devient sensibilisé au nickel, des concentrations beaucoup plus faibles sont nécessaires pour provoquer une réponse. Les informations sur les niveaux de nickel entraînant une sensibilisation sont limitées. Selon l'ATSDR (2005), une étude a révélé que le niveau de nickel sensibilisant était de 100 à 1 000 fois plus élevé que le niveau provoquant une dermatite chez un individu préalablement sensibilisé. Parmi les individus sensibilisés, une relation directe entre le niveau d'exposition au nickel et la sévérité de la dermatite a été trouvée. Aucune réaction n'a été observée chez des sujets sensibilisés au nickel subissant un test de patch avec 0,01% de nickel sous forme de sulfate de nickel. Cependant, l'exposition à 0,03% de nickel a entraîné une dermatite. De même, une dose de provocation orale de 0,02 mg Ni/kg peut provoquer une dermatite chez un petit nombre d'individus sensibilisés au nickel, alors qu'une exposition à des doses plus élevées (0,06 mg Ni/kg) entraîne souvent une dermatite chez la plupart des personnes sensibilisées au nickel. L'exposition à ces concentrations de nickel n'entraînera pas de dermatite chez les individus non sensibilisés.

Christensen et Möller (1975) ont constaté que l'administration orale de nickel (environ 5 mg) dans l'alimentation aggrave l'eczéma des mains chez des patients allergiques au nickel. Cronin et al. (1980) ont aussi observé une aggravation de la dermatite (eczéma) des mains chez des patientes dosées avec du sulfate de nickel par voie orale (2,5, 1,25 et 0,6 mg de nickel). De la même façon, Nielsen et al. (1999) ont observé une aggravation de l'eczéma des mains chez 9 de 20 patientes sensibilisées au nickel ayant reçu une dose orale de nickel soluble (3 µg/ml ou 12 µg Ni/kg pc). Dans un essai clinique chez des patients allergiques au nickel, Kaaber et al. (1978) et Veien et al. (1983) ont aussi observé une aggravation des symptômes après une exposition orale avec des composés de nickel (2,5 mg de nickel dans une capsule) et une amélioration de leur condition suite à un régime à faible teneur en métal pendant quatre à six semaines. Le même type d'observation est rapporté par d'autres auteurs (Santucci et al. 1988; Sjovall et al. 1987).

Les effets systémiques non létaux du nickel ingéré chez des individus sensibilisés au nickel ont aussi été évalués dans certaines études. Boscolo et al. (1999) ont évalué les effets immunitaires chez 28 femmes sensibilisées au nickel et dosées avec 10 mg de $NiSO_4$ par voie orale. Après ingestion, 7 femmes sensibilisées au nickel présentaient une poussée d'urticaire ou d'eczéma. Des modifications des niveaux des lymphocytes totaux et spécifiques ont été observées. Par ailleurs, Jensen et al. (2004) ont étudié certains mécanismes immunologiques associés à des réactions allergiques induites par le nickel ingéré. Après une exposition orale à des concentrations graduelles de nickel hexahydraté (NiSO4 • 6H2O) (0,3, 1,0 ou 4,0 mg de nickel) ou de placebo, des échantillons de sang ont été prélevés chez des sujets sensibles au

nickel (n = 33) et chez des témoins non sensibles au nickel (n = 19). Des sous-types de lymphocytes T (CD3 +, CD4 +, CD8 + et CD45RO +), l'expression du récepteur homéopathique et les profils d'antigène cutané associé aux lymphocytes (CLA) et de cytokines [interleukine (IL) -2, IL-4, IL-5, IL- 6, IL-10, interféron-y et facteur de nécrose tumorale-α] ont été étudiés. Un profil de réaction dose-réponse associé à l'exposition orale au nickel a été observé chez les individus sensibles au nickel. Les individus sensibles au nickel, dont la dermatite a été déclenchée après une provocation orale avec du nickel, ont montré une diminution significative des lymphocytes T CD3 + CD45RO + CLA + et CD8 + CD45RO + CLA +, suggérant une migration des lymphocytes T CLA + CD8 + du sang vers les tissus périphériques. Seuls les individus sensibles au nickel, qui ont réagi cliniquement à une provocation orale avec du nickel, présentaient des niveaux élevés d'IL-5 dans le sérum, indiquant une activation des lymphocytes T de type 2 dans le sang périphérique. L'étude a donc montré que les lymphocytes T CD8 + CD45RO + CLA + et les lymphocytes T avec un profil de cytokine de type 2 sont impliqués dans dermatite de contact induite par le nickel ingéré.

6.2.2 Données animales

Le U.S. EPA (1987b, 1991) rapporte que des essais chez l'animal ont montré que les composés du nickel présentaient des valeurs de toxicité aiguë par ingestion catégorisées de faibles à élevées. Suite à une ingestion, les documents du OEHHA (2012, 2013) ainsi que de l'ATSDR (2005) rapportent aussi que les composés de nickel hydrosolubles, tels que le sulfate de nickel et l'acétate de nickel, sont plus toxiques que les composés moins solubles dans l'eau, comme le sous-sulfure de nickel et l'oxyde de nickel, tel qu'établi à partir du calcul des doses létales 50 (LD 50). Les DL50 par voie orale chez le rat pour le NiO et le Ni_3S_2 moins solubles étaient >3000 mg Ni/kg pc, tandis que les DL50 orales pour le $NiSO_4$ et l'acétate de nickel plus solubles allaient de 39 à 141 mg Ni/kg pc chez le rat et la souris (Mastromatteo, 1986; Haro et al., 1968). Les composés de nickel solubles semblent aussi être plus toxiques par injection intrapéritonéale que par injection intramusculaire ou sous-cutanée. Les valeurs de DL50 aiguës pour $NiCl_2$ chez les rats étaient de 5 mg Ni/kg de poids corporel par voie injection intrapéritonéale, 23 mg Ni/kg de poids corporel par injection intramusculaire, et 25 mg de Ni/kg de poids corporel par injection sous-cutanée (Knight et al., 1991).

Suite à l'administration par voie orale, sous-cutanée, intrapéritonéale ou intramusculaires de différentes formes de nickel, mais surtout des formes solubles (chlorure et sulfate de nickel) ou partiellement soluble (carbonate de nickel), des effets non létaux au niveau du foie, des reins, du système gastro-intestinal, de la fonction immunitaire ont été rapportés.

Une toxicité au niveau du système gastro-intestinal a été rapportée suite à l'ingestion d'une forme soluble de nickel, le sulfate de nickel chez le rat. En effet, Singla et al. (2006) ont observé une modification de la structure et de la fonction de l'intestin et l'augmentation d'enzymes indicatrices de toxicité (maltase, lactase, phosphatase alcaline, leucine amino peptidase notamment) suite à une administration orale subaiguë de $NiSO_4$ à une dose de 50 mg/kg/j pendant 7 jours. Les auteurs ont conclu que l'ingestion aiguë de nickel affecte diverses enzymes de la bordure en brosse de l'intestin du rat.

Des effets hépatiques ont été observés chez l'animal suite à l'injection sous-cutanée de nickel. En effet, Donskoy et al. (1986) ont observé une toxicité hépatique aiguë chez des rats Fischer 344 suite à l'injection sous-cutanée de 125 à 750 µmol Ni/kg, caractérisée par une peroxydation lipidique accrue, une stéatose microvésiculaire et une augmentation de l'aspartate aminotransférase (AST) et de l'alanine aminotransférase (ALT). Ces dernières enzymes

sériques étaient significativement augmentées (environ deux fois) après administration de la faible dose de 125 µmol Ni/kg par rapport aux animaux témoins.

Par ailleurs, des injections sous-cutanées de 10 mg/kg de chlorure de nickel ont montré une augmentation de la sécrétion de prolactine chez les rats un jour après l'administration (Clemons et Garcia, 1981). A contrario, une étude antérieure a montré que la sécrétion de prolactine chez le rat est spécifiquement inhibée pendant 30 minutes après une exposition intraveineuse à 100 µg de Ni^{2+} administrée sous forme de $NiCl_2$ (LaBella et al., 1973).

Suite à l'administration d'une forme partiellement soluble du nickel (carbonate de nickel ou $NiCO_3$), des effets rénaux ont aussi été identifiés. Plus précisément, Ciccarelli et Wetterhanh (1984) ont observé une néphrotoxicité suite à l'injection intrapéritonéale de 10 mg Ni/kg sous forme $NiCO_3$. L'effet a été associé à la formation ions électrophiles Ni^{2+}, qui a la capacité de se lier aux nucléophiles intracellulaires dans les tissus rénaux tels que la guanine, l'adénine et le glutathion (Ciccarelli et Wetterhahn, 1984).

En outre, des effets du nickel sur la fonction immunitaire ont été rapportés dans plusieurs études. Obone et al. (1999) ont évalué les effets pulmonaires associés à l'ajout dans l'eau de consommation de sulfate de nickel hexahydraté soluble (NiSO4 • 6H2O), à des concentrations de 0, 44,7, 111,75 ou 223,5 mg Ni/l, pendant 13 semaines, chez des rats mâles Sprague-Dawley (n = 8/groupe de dose). Les auteurs ont observé une augmentation significative des protéines dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire (LBA) aux concentrations de 111,75 et 223,5 mg Ni/l et une diminution significative de l'activité de la phosphatase alcaline dans le liquide de LBA à toutes les doses comparativement aux témoins. Dans les tissus pulmonaires, aucune différence n'a été observée entre les rats exposés et les témoins dans les niveaux d'activités des enzymes évaluées (phosphatase alcaline, phosphatase acide ou lactate déshydrogénase). Ces auteurs ont aussi évalué les effets immunitaires reliés à ces expositions. Une augmentation significative du nombre absolu de lymphocytes T, CD4+ et CD8+ a été observée aux concentrations de 111,75 mg Ni/l. Une augmentation statistiquement significative de CD8+ et une diminution du rapport CD4/CD8 ont par ailleurs été observées à toutes les doses. Une augmentation significative du nombre absolu et du pourcentage de populations de cellules CD8+ thymocytaires a également été observée à toutes les doses. Selon le U.S. EPA (1988), le LOAEL pour l'immunotoxicité dans cette étude serait d'environ 7,0 mg/kg pc/jour.

Ces résultats sur les effets immunitaires du nickel sont appuyés par d'autres études. Smialowicz et al. (1985) ont observé une réduction de l'activité des cellules tueuses naturelles (NK) et d'une variété de lymphocytes T chez des souris injectés par voie intramusculaire avec du chlorure de nickel soluble. Harkin et al. (2003) ont aussi évalué l'effet immunosuppresseur du chlorure de nickel chez des rats Sprague-Dawley injectés par voie intrapéritonéale avec 0, 0,12, 0,36, 1,1 ou 3,3 mg de $NiCl_2$/kg. Une suppression dose-dépendante et temps-dépendante de la prolifération des lymphocytes T et de la production de cytokines (Th-1 (IFN-y) et Th-2 (IL-10)) a été observée. Ces données montrent que $NiCl_2$ supprime la fonction des cellules T et favorise un phénotype de macrophages immunosuppresseurs chez les rats.

6.3 Cancer

6.3.1 Données humaines

Des études épidémiologiques menées chez des travailleurs de raffinerie de nickel ont révélé une association entre l'exposition à des composés du nickel (trouvés dans le raffinage et le traitement des minerais sulfurés) et l'incidence accrue du cancer du poumon et du nez. Dans une analyse réalisée en 1990 sur dix cohortes de travailleurs de l'industrie du nickel, un risque accru de cancers respiratoires avait été associé à des expositions à des composés de nickel solubles à des concentrations de nickel soluble dans l'air de plus de 1 mg Ni/m^3 et de composés de nickel moins solubles de plus de 10 mg Ni/m^3 (ICNCM, 1990). Une description des principales études sur les risques de cancers associés à l'exposition au nickel (incluant le risque de cancer respiratoire) est fournie dans Goodman et al. (2009, 2011). Les voies respiratoires sont le seul organe pour lequel des augmentations constantes du risque de cancer ont été signalées. La voie respiratoire (et donc l'inhalation) est donc la seule voie d'exposition préoccupante en ce qui a trait à la cancérogénicité du nickel.

Selon ce qui est rapporté par les grands organismes et les chercheurs du domaine, les données provenant d'études épidémiologiques (appuyées par les données animales) ont permis d'évaluer le risque de cancer relié à l'exposition au nickel dans l'air. Bien que les particules de nickel inhalables se déposent au niveau extra-thoracique et donc au niveau nasal, la survenue de tumeurs nasales est rare. C'est donc surtout le cancer du poumon qui été pris en compte dans l'évaluation des risques de cancer respiratoires associés à l'exposition au nickel (CE, 2001, U.S. EPA, 1987a,b, OMS, 2000). Puisqu'aucune augmentation significative de l'incidence des tumeurs nasales n'a pas été observée dans les cohortes où l'incidence des tumeurs pulmonaires n'était pas significativement augmentée, la prévention des risques de cancers pulmonaires associés à l'exposition au nickel inhalable devrait également prévenir les tumeurs nasales.

Les organismes gouvernementaux et de nombreuses revues soulignent les difficultés et incertitudes dans l'utilisation des données épidémiologiques pour estimer les niveaux (et les types) d'exposition au nickel associés à une augmentation du risque de cancer respiratoire, en particulier chez les travailleurs. Celles-ci incluent l'absence de mesures d'exposition, l'incapacité d'estimer et de prendre en compte les mélanges de différentes formes de nickel, la présence de facteurs de confusion potentiels et les interactions possibles. Néanmoins, les données disponibles concernent les principales formes des composés du nickel (solubles, sulfhydriques et oxydiques). Selon Goodman et al. (2011), il y a peu, voire aucune, preuve de risques élevés de cancer du poumon à des concentrations d'exposition aux particules totales de nickel inhalables (Ni total) de moins de 0,2 mg Ni/m^3 (Goodman et al., 2011). À partir de ces données, il est également clair que l'exposition dans les sites de production et d'utilisation de nickel est toujours mixte, impliquant au moins deux des formes de nickel suivantes: Ni soluble, sulfuré, oxydique et métallique. La relation a été analysée en considérant les formes solubles et oxydiques séparément et en tenant compte des différences de réponse en présence de nickel sulfuré à des niveaux inférieurs ou supérieurs à 0,2 mg/m^3.

6.3.2 Données animales

6.3.2.1 Inductions de tumeurs

La cancérogénicité des composés du nickel a été revue dans de nombreuses études. Tel que revues par Oller et al. (1997), avant les études du NTP (1996a, b, c), plusieurs études animales, notamment sur le sous-sulfure de nickel insoluble ont montré que l'exposition chronique par inhalation ou instillation intratrachéale pouvait causer des tumeurs (Ottolenghi et al., 1974; Pott et al., 1987) mais les résultats n'étaient pas claires pour les autres composés du nickel.

Les études du NTP (1996a, b, c) ont ensuite montré un potentiel cancérogène de différentes formes de nickel. Dans l'étude chronique du NTP (1996b) chez des rats et souris exposés à des concentrations de sous-sulfure de nickel de 0, 0,11, ou 0,73 mg Ni /m^3 chez le rat et de 0, 0,44, ou 0,88 mg/m^3 chez la souris, 6 heures par jour, 5 jours/semaine pendant 2 ans, une augmentation dose-dépendante de l'activité cancérogène a été observée tant chez les rats mâles que femelles. Aucune évidence d'activité cancérogène n'a été observée chez la souris.

Dans l'étude du NTP (1996a) chez des rats exposés à des concentrations d'oxyde de nickel (vert) de 0, 0,5, 1,0 ou 2 mg Ni/m^3, 6 heures par jour, 5 jours/semaine pendant 2 ans, une certaine évidence de cancérogénicité a été observée aux doses de 1 et 2 mg/m^3 par comparaison aux contrôles historiques (mais pas aux contrôles de l'étude). Chez des souris exposées à 0, 1,0, 2,0, ou 3,9 mg Ni/m^3 sous forme d'oxyde de nickel, aucune augmentation significative de tumeurs n'a été observée chez les mâles par rapport aux contrôles mais une évidence équivoque de cancérogénicité a été notée chez les femelles.

Dans l'étude du NTP (1996c) chez des rats exposés au sulfate de nickel hexahydraté ($NiSO_4.6H_2O$) à des concentrations de 0, 0,03, 0,06 ou 0,11 mg Ni /m^3, ainsi que des souris exposées à 0, 0,06, 0,11, ou 0,22 mg Ni/m^3, 6 heures par jour, 5 jours/semaine pendant 2 ans, aucune évidence d'activité cancérogène induite par le nickel n'a été observée chez les deux espèces. Ces études ont donc montré une différence dans le potentiel cancérogène des trois formes de nickel évaluées et une différence de susceptibilité entre les espèces (le rat étant plus susceptible que la souris).

Les composés du nickel peuvent être éliminés du poumon soit par simple dissolution pouvant générer des ions Ni^{2+}, soit par phagocytose par les macrophages alvéolaires (Oller et al. 1997). La présence de macrophages activés (contenant de l'oxyde de nickel insoluble par exemple) ou les effets dérivés des ions Ni^{2+} (générés par la dissolution) peut induire une réponse inflammatoire. Une étape initiale de la réaction inflammatoire est l'activation des macrophages adjacents et des cellules polymorphonucléaires. Cette activation va causer le relargage de facteurs de croissance, de cytokines, de protéases et d'oxydants pouvant augmenter la prolifération cellulaire, incluant les cellules qui peuvent avoir subi un dommage génétique. Les cellules cancéreuses perdent par ailleurs leur capacité à communiquer avec les cellules avoisinantes à travers les « gap junctions », des canaux spécialisés de la membrane cellulaire.

Les formes de sous-sulfure de nickel peuvent subir une endocytose et également générer des ions Ni^{2+}. Le sous-sulfure de nickel a une solubilité relativement élevée dans les fluides biologiques. Selon Oller et al. (1997), cette forme a une plus grande capacité à générer des évènements génotoxiques et épigénétiques comparativement aux autres formes. Les formes oxydes de nickel sont beaucoup moins solubles dans les fluides biologiques et donc moins efficaces à générer des ions Ni^{2+}. La clairance des formes oxydes est donc largement dépendante de l'action des macrophages; il est alors possible que les tumeurs générées par les

formes oxydes soient associées à une réponse inflammatoire et prolifération médiée par l'activation chronique des macrophages, plutôt qu'un effet direct héritable (génotoxique ou épigénétique) du Ni^{2+}. Quant au sulfate de nickel, sa solubilité dans les fluides biologiques, menant au relargage de Ni^{2+}, peut causer de l'inflammation et de la toxicité cellulaire. Toutefois, une fois dans la cellule, le Ni^{2+} se lie rapidement à des ligands cytoplasmes limitant le transfert vers le noyau cellulaire et donc limitant la possibilité de dommages génétiques induits par le Ni^{2+}. Un des aspects encore peu connu est l'impact de la taille des particules sur la formation d'ions Ni^{+2} et donc la possibilité que des plus petites particules conduisent à une augmentation du relargage de Ni^{2+} et donc de biodisponibilité du Ni^{2+} aux sites nucléaires.

6.3.2.2 Altération des gènes

La cancérogenèse est généralement considérée comme une accumulation en plusieurs étapes d'altérations génétiques. Le nickel, bien qu'ayant un potentiel cancérogène, est considéré faiblement mutagène. Dans le cas des composés de nickel solubles, les données sur le mode d'action suggèrent qu'ils ne seront pas capables de provoquer des effets génotoxiques *in vivo* parce qu'ils ne peuvent pas délivrer suffisamment d'ions de nickel aux sites nucléaires des cellules cibles (Goodman et al., 2009). Il existe par ailleurs seulement une preuve limitée que les composés solubles du nickel pourraient agir comme promoteurs de tumeurs. Toutefois, certains auteurs ont émis l'hypothèse que le nickel peut agir en modulant les voies de signalisation, puis en reprogrammant les facteurs de transcription. Dans ce contexte, Salnikow et al. (2002) ont étudié l'expression de gènes dans des fibroblastes d'embryons de souris de type sauvage ou knock-out (sans facteur de transcription induisant l'hypoxie HIF-1 α) traités au $NiCl_2$ soluble à une concentration de 1,0 mM pendant 20 heures. Les résultats ont montré une induction par le nickel d'un certain nombre de gènes codant pour des enzymes glycolytiques et des transporteurs du glucose, connus pour être régulés par le facteur de transcription HIF-1.

Dans une étude ultérieure similaire, Salnikow et al. (2003) ont aussi comparé la modulation de l'expression de ces mêmes gènes par des formes soluble et insoluble de nickel ($NiCl_2$ et Ni_3S_2, respectivement) dans des cellules de type sauvage ou dans des cellules d'embryons de souris knock-out HIF-1α. Les composés de nickel solubles et insolubles ont activé les mêmes voies de signalisation, ce qui suggère que les deux composés de nickel ont un potentiel cancérogène similaire *in vitro*. Les résultats indiquent que la forme de nickel a peu d'effet sur les altérations de l'expression des gènes évalués dans cette étude et induites par le nickel.

6.4 Autres effets

6.4.1 Effet sur le système reproducteur et sur le développement

Le document du OEHHA (2012) rapporte que des études chez des travailleurs exposés à des composés du nickel par inhalation dans une raffinerie suggèrent une incidence accrue d'avortements spontanés chez les femmes alors que d'autres études, également chez des travailleurs femmes de raffinerie, n'ont pas montré de probabilité accrue d'effets significatifs sur la reproduction et le développement (Chashschin et al., 1994; Vaktsjold et al., 2006, 2007, 2008a, b) (Tableau 8). Chez les animaux de laboratoire, aucune étude d'inhalation n'a été identifiée. Cependant, des expositions par voie orale ont entraîné une spermatotoxicité chez les souris et les rats, l'induction de mutations, des perturbations endocriniennes, et une reproduction réduite chez les rats (les deux sexes exposés séparément et ensemble). Les souris et les rats exposés au nickel ont également présenté une mortalité périnatale significativement accrue.

Tableau 8 – Sommaire de données sur les effets sur le système reproducteur et sur le développement chez l'humain (adapté de OEHHA, 2012)

Étude	Composés	Milieu de travail et exposition	Effet principal	Commentaires / autres effets observés
Chashschin et al. (1994)	$NiSO_4$	Travailleurs féminins de raffinerie de Ni exposés à : 0,11 - 0,31 mg de Ni/m^3 dans l'air (n = 290 travailleurs vs 336 contrôles)	Avortements spontanés (SA) : 15,9% des exposés vs 8,5% des contrôles; aucun intervalle de confiance rapporté	Augmentation significative de malformations structurelles (16,9%) contre 5,8% chez les contrôles; RR = 2,9 pour toutes les malformations, 1,9 pour les malformations musculosquelettiques
Vaktsjold et al. (2006)	Ni, soluble dans l'eau inhalable	Travailleurs féminins de raffineries de Ni répartis en 3 groupes : Ni dans l'urine contrôle < 10 µg/l; groupe faiblement exposé < 70 µg/l; groupe fortement exposé ≥ 70 µg/l	Malformations génitales : OR = 0,81 (IC 95% = 0,52-1,26) ; testicules non descendus : OR = 0,76 (IC95%= 0,75-0,93)	Peu de cas dans le groupe fortement exposé; seulement 103 nouveau-nés ont été diagnostiqués avec un ou plusieurs malformations (44,5/10 000)
Vaktsjold et al. (2007)	Ni, soluble dans l'eau inhalable	Travailleurs féminins de raffineries de Ni répartis en 3 groupes : Ni dans l'urine contrôle < 10 µg/l; groupe faiblement exposé < 70 µg/l; groupe fortement exposé ≥ 70 µg/l	Enfants nés petits pour l'âge gestationnel (SGA): OR non ajusté = 0,79 (IC95%= 0,68-0,91) ; OR ajusté = 0,84 (IC95% = 0,75-0,93)	SGA = poids à la naissance au-dessous du 10ème centile; 2096 (9,2%) définis comme SGA
Vaktsjold et al. (2008a)	Ni, soluble dans l'eau inhalable	Travailleurs féminins de raffineries de Ni répartis en 3 groupes : Ni dans l'urine contrôle < 10 µg/l; groupe faiblement exposé < 70 µg/l; groupe fortement exposé ≥ 70 µg/l	Malformations (MS) musculosquelettiques : OR ajusté = 0,96 (IC95%= 0,76-1,21)	Aucune malformation MS causée par le Ni en dépit de l'incidence élevée: 304 (13,3/1000).
Vaktsjold et al. (2008b)	Ni, soluble dans l'eau inhalable	Travailleurs féminins de raffineries de Ni répartis en 3 groupes : Ni dans l'urine contrôle < 10 µg/l; groupe faiblement exposé < 70 µg/l; groupe fortement exposé ≥ 70 µg/l (474 cas vs 4571 contrôles)	Avortements spontanés (SA) : OR non ajusté = 1,38 (IC95% = 1,04-1,84) ; OR ajusté = 1,14 (IC95% = 0,95-1,37)	Faible effet possible ou risque excédentaire accru dans la phase précoce de la grossesse

7. APPROCHE GÉNÉRALE UTILISÉE PAR LES ORGANISMES GOUVERNEMENTAUX ET GROUPES DE TRAVAIL POUR L'ÉTABLISSEMENT DE DOSES OU CONCENTRATIONS DE RÉFÉRENCE

Une série d'organismes gouvernementaux et groupes de travail ont proposé des valeurs de référence toxicologiques pour toute une panoplie de contaminants chimiques environnementaux, c'est-à-dire des doses ou concentrations d'exposition en dessous desquelles les risques d'effets sur la santé devraient être négligeables (le U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), le California Environmental Protection Agency (CalEPA), le OEHHA du gouvernement californien, Santé Canada…). Ces valeurs de référence s'appuient sur les études toxicologiques et épidémiologiques disponibles, qui permettent de définir une dose ou concentration critique (« critical dose » ou « critical concentration ») servant de point de départ (« point-of-departure », POD) pour l'établissement de la valeur de référence. Des facteurs d'incertitudes (FI) sont appliqués à ces doses critiques pour dériver une valeur de référence toxicologique visant à protéger les populations exposées. Une dose ou concentration de référence est définie pour prévenir les effets non cancérogènes ou encore les effets cancérogènes non génotoxiques qui impliquent un mécanisme épigénétique.

Les études épidémiologiques ont l'avantage d'être basées sur la population visée, mais sont sujettes à différents facteurs de confusion. Il est aussi difficile d'estimer l'exposition de façon précise. L'exposition est mixte à un ensemble complexe de molécules et les niveaux d'exposition sont relativement faibles par rapport aux études expérimentales, mais en général répétées dans le temps. Par ailleurs, la mesure des effets et des maladies est non spécifique à une molécule, ce qui complique l'évaluation de la relation dose-réponse. D'un autre côté, Les études animales sont contrôlées, de sorte que les conditions d'exposition sont bien définies. Toutefois, les doses d'exposition sont en général largement plus élevées que celles rencontrées dans la population, afin d'observer des effets, le nombre d'animaux pouvant être testé est limité et les conditions d'exposition ne sont pas toujours le reflet de l'exposition réelle de la population. La mesure des effets peut se faire directement par des mesures de pathologies, d'altérations fonctionnelles ou de biomarqueurs. Ainsi, l'établissement de la relation dose-réponse est plus facile que dans la population générale.

À partir des études humaines et animales, la dose critique ou concentration critique servant de point de départ (POD) pour définir une dose ou concentration de référence correspond soit au niveau le plus élevé sans effet (néfaste) observé (« no-observed (adverse) effect level ou NOAEL »), au niveau le plus faible associé à un effet (néfaste) observé (« lowest-observed (adverse) effect level ou LOAEL ») ou encore à un « benchmark dose » (BMD) soit une dose ou concentration associée à un pourcentage de réponse donné. Ce BMD est déterminé par ajustement statistique aux données observées et correspond à la dose ou à la concentration associée à un pourcentage de réponse de 1 ou 5% en général dans les études épidémiologiques ou à 5 ou 10% dans les études animales. Un intervalle de confiance sur la valeur de BMD est souvent établi par les organismes et le niveau inférieur de dose sert en général de point de départ dans ce cas et est défini comme « lowest-effective dose ou concentration » ou lowest BMD (BMDL).

À partir de cette dose critique, différents facteurs d'incertitudes sont appliqués, dont i) des facteurs d'incertitudes pour l'extrapolation de l'animal à l'humain (FI_A), ii) pour tenir compte de la variabilité interindividuelle chez l'humain (FI_H), iii) pour l'extrapolation d'un LO(A)EL à un NO(A)EL ou d'un BMD ou BMDL à NO(A)EL (FI_L) lorsque le POD n'est pas un NO(A)EL, iv)

pour l'extrapolation de données subchroniques à chroniques (FI_S) lorsque l'étude servant à déterminer le POD n'est pas une étude chronique. De façon conventionnelle, ces facteurs d'incertitudes ont une valeur par défaut de 10 (U.S. EPA, Santé Canada,…). Néanmoins, dans certains cas, la valeur peut être inférieure si des informations sur la toxicocinétique et la toxicodynamique sont connues. Ainsi, pour l'extrapolation animal-humain et la variabilité interindividuelle humaine, le facteur d'incertitude peut tenir compte seulement de la toxicocinétique (TK) ou de la toxicodynamique (TD). En effet, l'OMS et le U.S. EPA ont émis des directrices pour l'application de facteurs d'ajustements spécifiques au produit chimique ou aux données, en partant du principe que la valeur par défaut de 10 correspond en fait à deux composantes, une pour la variabilité TD reliée aux effets et l'autre pour la variabilité TK reliée aux paramètres physiologiques. Chaque composante TK et TD prend alors en général la valeur de $\sqrt{10}$ ou 3.16. La considération de ces composantes TK et TD permet d'évaluer si ces paramètres peuvent différer entre l'animal et l'humain ou encore si tant la composante TK que TD doivent être considérées dans l'établissement du facteur d'incertitude pour la variabilité interindividuelle humaine ou si seulement une des deux composantes (TK ou TD) doivent être considérées. Des modèles toxicocinétiques ou pharmacocinétiques à base physiologique (PBPK) peuvent d'ailleurs servir à établir plus précisément le paramètre relié à la toxicocinétique. Un facteur de modification peut aussi être ajouté lorsque la qualité des données disponibles n'est pas suffisante.

Dans d'autres cas, lorsqu'une étude animale par inhalation sert à établir un POD, pour le facteur relié à la toxicocinétique de la substance, on calcule un « human equivalent concentration » (HEC). Un HEC est défini comme la concentration d'un aérosol qui entraîne la même dose retenue au niveau respiratoire chez l'humain et chez les rats. Celui-ci est basé sur un modèle mathématique qui estime la dose déposée ou retenue dans les poumons en considérant les différences, entre l'animal et l'humain, dans la cinétique des particules dans les poumons ainsi que dans le taux de ventilation et le poids corporel. Dans le calcul de la dose retenue au niveau des poumons, les temps de demi-vie (t1/2) de rétention de la molécule doivent être pris en compte.

Pour prédire la dosimétrie de particules dans les poumons et ainsi dériver un HEC pour les particules, différents modèles de dosimétrie de la déposition de particules ont été proposés. Dans le cas du nickel, une telle approche de détermination d'un HEC a été utilisée par des organismes comme l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA 2012) du gouvernement californien (CalEPA) et NiPERA (2017) à partir de données d'inhalation animales. Le modèle se base principalement sur le modèle de dosimétrie de particules « Multiple-Path Particle Dosimetry » (MPPD) développé par Asgharian (Anjilvel et Asgharian, 1995; Asgharian et al., 1999). Celui-ci calcule la fraction de déposition dans le poumon en fonction de divers facteurs, tels que la taille des particules dans l'aérosol. Ainsi, la taille des particules dans l'étude animale doit être connue. Celle-ci aura une grande incidence sur la fraction de déposition et le lieu de déposition. Pour estimer la déposition chez les travailleurs notamment, la taille moyenne des particules auxquelles la population d'intérêt est exposée (tâche, secteur) doit aussi être connue. Pour l'établissement d'une norme visant à prévenir les effets dans la population générale, il serait important de définir les tailles de particules auxquelles celle-ci est la plus exposée et les plus susceptibles de se déposer dans les zones sensibles. Une fois la fraction de déposition déterminée, une dose de déposition journalière est calculée pour tenir compte de la concentration et de la durée de l'exposition, de la fréquence respiratoire et du volume courant (« tidal volume »). Un HEC peut alors être calculé à partir de la dose de déposition animale et humaine et de la concentration d'exposition chez l'animal. Si la demi-vie de rétention pulmonaire est connue, une dose de rétention peut aussi être calculée et tiendra compte de l'exposition à long terme. Un ratio entre la dose de rétention chez l'animal et

l'homme est calculé (la taille des particules pouvant être différente entre l'animal et l'humain) et ce ratio est multiplié par la concentration chez l'animal pour obtenir le HEC. Une fois le HEC déterminé, qui tient compte de la toxicocinétique au niveau des voies respiratoires, un facteur toxicodynamique pour l'extrapolation animale-humain peut être également appliqué, afin de tenir compte d'une possible différence de réaction du corps à la présence des particules entre l'animal et l'humain. Le facteur appliqué pour tenir compte de la différence dans la toxicodynamique entre l'animal et l'humain peut varier selon la sévérité des effets rapportés entre les études. Lorsqu'un HEC sert de POD, une fois les composantes du FI_A établies, des FI pour la variabilité interindividuelle afin de prévenir les effets chez les individus les plus sensibles (FI_H), pour l'extrapolation subchronique à chronique (FI_S) ainsi que pour l'extrapolation de LOAEL à NOAEL ou de BMD(L) à NOAEL (FI_L) peuvent être considérés, tel que décrit précédemment. Dans le cas du FI_H, si l'étude servant à établir la valeur de référence toxicologique est effectuée chez des personnes déjà sensibles, le facteur appliqué pourra être moins grand.

D'autres organismes comme le U.S. EPA (1994) et l'ATSDR (2005) utilisent plutôt le calcul d'un « regional deposited dose ratio » ($RDDR_r$) pour la région pulmonaire pour extrapoler les doses déposées chez le rat à des doses déposées chez l'humain. Le U.S. EPA a développé un logiciel pour ce calcul qui tient compte des paramètres suivants: taille des particules (diamètre aérodynamique médian en masse, MMAD) avec écart type géométrique; valeurs par défaut de poids corporel humain en kg, volume minute en L et surface pulmonaire en m^2; valeurs par défaut de poids corporel de l'animal (rat) en kg, volume minute en ml et surface pulmonaire en m^2. Le $RDDR_r$ est basé sur l'équation suivante :

$$RDDR_r = \frac{(10^{-6} \times C_i)_A}{(10^{-6} \times C_i)_H} \times \frac{(SA_r)_H}{(SA_r)_A} \times \frac{(\dot{V}_E)_A}{(\dot{V}_E)_H} \times \frac{(F_r)_A}{(F_r)_H}$$

où C_i est la concentration déposée aux poumons (mg/m^3), SA est la surface corporelle (cm^2 ou m^2), V_E est le volume minute (ml/min), F_r est la fraction déposée dans la région r. L'indice A décrit l'animal et l'indice H l'humain. Contrairement au modèle MPPD, le calcul du $RDDR_r$ ne permet pas d'inclure les prédictions de dépôt pour les enfants.

Par ailleurs, lorsqu'un mode d'action génotoxique impliquant une interaction avec l'ADN est connu pour une substance chimique ou encore en l'absence de données suffisantes pour considérer une approche avec seuil pour la cancérogénicité (pour les cancers épigénétiques), des organismes comme le U.S. EPA et l'OMS utilisent plutôt une approche considérant l'absence de seuil de cancérogénicité et donc un risque non nul de développer des tumeurs lorsqu'exposé. Un risque unitaire (« Unit risk) est calculé et est défini comme une estimation de l'excès de risque de cancer dans la population pour une exposition à vie à une concentration de 1 $\mu g/m^3$. Une concentration ou dose associée à un excès de risque jugé acceptable (allant de 1 cas d'excès de cancer pour 1000, 100 000, 1 000 000 individus exposés) peut alors être calculée à partir de cette estimation de risque unitaire.

8. DESCRIPTEURS DE TOXICITÉ DÉVELOPPÉS PAR DES ORGANISMES RECONNUS (RFD, RFC, RISQUE UNITAIRE, MRL)

8.1 Dose de référence (« Reference dose » ou RfD) établie par le U.S. EPA

Basé sur l'approche décrite précédemment, le US Environmental Protection Agency, une agence indépendante du gouvernement fédéral américain pour la protection de l'environnement, a établi une dose de référence par ingestion (« Reference dose » ou RfD) de 0,02 mg/kg/j pour le sulfate de nickel (U.S. EPA 1991). Aucune RfD n'a été établie pour les autres formes de nickel (incluant sous-sulfure de nickel) (U.S. EPA 1987a,b). La dose de référence orale (RfD) est basée sur l'hypothèse que des seuils existent pour certains effets toxiques tels que la nécrose cellulaire. Elle est exprimée en unités de mg/kg/jour. En général, la RfD est une estimation de dose d'exposition quotidienne à vie par ingestion susceptible d'être sans risque appréciable d'effets délétères pour la population (y compris les sous-groupes sensibles).

La RfD pour le sulfate de nickel soluble a été dérivée à partir de l'étude expérimentale chronique d'Ambrose et al. (1976) chez des rats exposés par l'alimentation. Ces auteurs ont exposé des rats mâles et femelles à 0, 100, 1000 ou 2500 ppm de nickel (estimé à 0, 5, 50 et 125 mg Ni/kg de poids corporel (pc)) dans l'alimentation pendant deux ans. Les poids corporels chez les rats mâles et femelles exposés à la plus forte dose étaient significativement diminués par rapport aux témoins. Les poids corporels étaient également réduits chez les rats exposés à 1000 ppm. Cette réduction était significative chez les femelles à la semaine 6 et aux semaines 26 à 104, alors que les mâles ont montré une réduction du poids corporel seulement à 52 semaines. Des groupes de rates sur les régimes de 1 000 ou 2 500 ppm de nickel (50 et 125 mg de Ni/kg pc) présentaient des ratios poids du cœur significativement plus élevés et des ratios de poids du foie plus faibles que les témoins. Aucun effet significatif n'a été signalé à 100 ppm (5 mg Ni/kg pc). La dose de 1000 ppm (50 mg de Ni/kg pc) a été considérée comme LOAEL et la dose de 100 ppm (5 mg de Ni/kg pc) comme NOAEL. Dans cette étude, la survie à deux ans était faible, en particulier chez les rats témoins des deux sexes (décès: 44/50), ce qui soulève des inquiétudes quant à l'interprétation des résultats de cette étude. Dans une étude subchronique, American Biogenics Corp. (ABC, 1986) ont également identifié un NOAEL de 5 mg/kg/jour, ce qui appuie les résultats d'Ambrose et al. (1976). À partir du NOAEL de 5 mg/kg/j dans l'étude d'Ambrose et al. (1976), un facteur d'incertitude de 10 a été appliqué pour l'extrapolation interespèces (FI_A) et de 10 pour protéger les populations sensibles (facteur d'incertitude pour la variabilité interindividuelle humaine FI_H). Un facteur d'incertitude supplémentaire de 3 a été utilisé pour tenir compte des données insuffisantes sur la reproduction (RTI, 1987, Ambrose et al., 1976).

8.2 Concentration de référence (« Reference concentration » ou RfD) établie par le U.S. EPA

Il n'y a pas de concentration de référence (« Reference concentration » ou RfC) proposée par le U.S. EPA pour le nickel et ses composés (U.S. EPA 1987a,b, 1991).

8.3 Risque unitaire établi par le U.S. EPA

Le U.S. EPA utilise des modèles mathématiques, basés sur des études animales ou épidémiologiques, pour estimer la probabilité de développer un cancer suite à une exposition par inhalation à des particules respirables (pouvant atteindre les poumons). Sur la base d'études épidémiologiques, le U.S. EPA (1987a) a classé les poussières de nickel comme cancérogènes de classe A. Le USEPA (1987a) a calculé un estimé de risque unitaire de $2,4 \times 10^{-4}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$ pour ces poussières de raffinerie de nickel. Cet estimé de risque est une moyenne des valeurs obtenues à partir des données disponibles à l'époque sur le ratio de mortalité standardisé (SMR) par cancer du poumon pour différentes concentrations d'exposition au nickel chez des travailleurs de raffineries à Huntington, WV (Enterline and Marsh, 1982), à Copper Cliff, Ontario (Chovil et al., 1981), à Clydach, Wales (Peto et al., 1984) et à Kristiansand, Norvège (Magnus et al., 1982). Cette approche considère l'absence de seuil de cancérogénicité, et donc par défaut un mode d'action génotoxique. Ce risque unitaire est une estimation de l'excès de risque de cancer du poumon dans la population pour une exposition à vie à une concentration de 1 $\mu g/m^3$. Selon cette estimation, si un individu respirait en continu durant toute sa vie de l'air contenant des poussières de raffinerie de nickel à concentration moyenne de 0,004 $\mu g/m^3$, il n'aurait théoriquement pas plus d'une chance sur un million de probabilités de développer un cancer résultant de l'inhalation directe d'air contenant ce produit chimique. Pour une exposition journalière à vie à une concentration de 0,04 ou 0,4 $\mu g/m^3$, la probabilité de développer un cancer serait d'une chance sur 100 000 et 10 000, respectivement.

Sur la base des études épidémiologiques mentionnées ci-dessous et d'une étude d'exposition animale chronique par inhalation (Ottolenghi et al. 1974), le U.S. EPA (1987b) a aussi classé le sous-sulfure de nickel comme cancérogène de classe A. Ottolenghi et al. (1974) ont montré une diminution du poids corporel, de l'hyperplasie, de la métaplasie, des adénomes et des adénocarcinomes dans les régions bronchiolaires et alvéolaires du poumon de rats mâles et femelles Fischer 344 (total de 467 rats des deux sexes) suite à une exposition à 0,97 mg Ni_3S_2/m^3 (0,71 mg Ni/m^3), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 78-80 semaines. À partir des études épidémiologiques chez les travailleurs de raffineries exposés aux poussières de nickel, le U.S. EPA (1987b) a calculé un estimé de risque unitaire pour une exposition journalière à vie au sous-sulfure de nickel par inhalation de $4,8 \times 10^{-4}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$. Ce calcul suppose que le sous-sulfure de nickel représente 50% du nickel contenu dans la poussière totale. Puisque le sous-sulfure de nickel est l'un des composés du nickel les plus toxiques, cette estimation du risque représente probablement une limite supérieure de risque. Selon cette estimation de risque, si un individu respirait en continu durant toute sa vie de l'air contenant du sous-sulfure de nickel à une concentration moyenne de 0,002 $\mu g/m^3$, il n'aurait théoriquement pas plus d'une chance sur un million de développer un cancer résultant de l'inhalation directe d'air contenant ce produit chimique. Pour une exposition journalière à vie à une concentration de 0,02 ou 0,2 $\mu g/m^3$, la probabilité de développer un cancer serait d'une chance sur 100 000 et 10 000, respectivement.

Aucun risque unitaire n'a été établi par le U.S. EPA (1991) pour le sulfate de nickel. Bien qu'un risque unitaire ait été calculé par le U.S. EPA (1987a, b) pour les poussières de raffinerie de nickel et pour les particules de sous-sulfure de nickel dans l'air, il n'est pas évident que le mécanisme d'action cancérogène du nickel passe par une interaction directe avec le matériel génétique (Oller et al. 1997). En effet, bien que certaines formes de nickel aient induit des tumeurs chez l'animal (NTP 1996a, b), le nickel est considéré faiblement mutagène. Tel que mentionné précédemment, dans le cas des composés de nickel solubles, certains auteurs ont indiqué que les données sur le mode d'action suggèrent qu'ils ne seront pas capables de provoquer des effets génotoxiques *in vivo* parce qu'ils ne peuvent pas délivrer suffisamment

d'ions de nickel aux sites nucléaires des cellules cibles (Goodman et al., 2009). Selon Oller et al. (1997), le sous-sulfure de nickel, ayant une solubilité relativement élevée dans les fluides biologiques, a une plus grande capacité à générer des évènements génotoxiques et épigénétiques comparativement aux autres formes. Les formes oxydes de nickel sont beaucoup moins solubles dans les fluides biologiques et donc moins efficaces à générer des ions Ni^{2+} mais ont induit des cancers chez l'animal exposé de façon chronique (NTP 1996a); il est donc possible que les tumeurs générées par les formes oxydes soient associées à une réponse inflammatoire et prolifération médiée par l'activation chronique des macrophages, plutôt qu'un effet direct héritable (génotoxique ou épigénétique) du Ni^{2+}. Quant au sulfate de nickel, bien que soluble dans les fluides biologiques et formant des ions Ni^{2+} qui peuvent causer de l'inflammation et de la toxicité cellulaire, une fois dans la cellule, le Ni^{2+} se lie rapidement à des ligands cytoplasmes limitant le transfert vers le noyau cellulaire et donc limitant la possibilité de dommages génétiques induits par le Ni^{2+}.

8.4 Risque unitaire établi par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS)

En coopération avec le « International Programme on Chemical Safety (IPCS) » et la Commission européenne (« European Commission »), l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a publié un guide sur la qualité de l'air (« Air Qualité Guideline ») proposant des valeurs guides pour 35 polluants incluant les composés du nickel. La base de la méthode d'établissement de ces valeurs guides est telle que décrite dans la section précédente (OMS 2000).

Dans le document produit (OMS 2000), certaines valeurs guides sont proposées pour des expositions moyennes sur différentes périodes (15 minutes à annuelles) pour quelques contaminants, basées sur les effets autres que le cancer et les nuisances et odeurs, mais aucune valeur n'est proposée pour les composés du nickel. Par contre, considérant que les composés du nickel sont classés dans le groupe 1, cancérogènes reconnus chez l'humain, par le Centre international de recherche sur le cancer (« International Agency for Research on Cancer » (IARC ou CIRC)), l'OMS a établi une valeur de risque unitaire de 4×10^{-4} $(\mu g/m^3)^{-1}$, basée sur ses effets cancérogènes au niveau pulmonaire. Cette approche considère l'absence de seuil de cancérogénicité, et donc par défaut un mode d'action génotoxique. Ce risque unitaire est une estimation de l'excès de risque de cancer du poumon dans la population pour une exposition à vie à une concentration de 1 $\mu g/m^3$. Il représente donc 4 cas de cancer sur 10000 personnes exposés chroniquement à 1 $\mu g/m^3$ de composés de nickel. Il est à noter que l'IARC a par ailleurs classé le nickel métallique comme cancérogène possible pour l'homme (groupe 2B).

Cette estimation de risque produit par l'OMS a été établie sur la base des informations disponibles à ce moment sur l'exposition et les risques estimés dans des populations industrielles, en particulier les données disponibles sur l'incidence de cancers respiratoires chez des travailleurs de raffineries de nickel en Norvège (Anderson 1992; Anderson et al. 1996). En utilisant le risque estimé de 1,9 pour ces travailleurs et une exposition de 2,5 mg/m^3, une exposition à vie de 155 $\mu g/m^3$ et un risque unitaire de $3,8 \times 10^{-4}$ par $\mu g/m^3$ ont été calculés. Considérant ce calcul de risque unitaire, le document de l'OMS rapporte des concentrations dans l'air associées à un excès de risque spécifique de 1 cas sur 10 000, 1 cas sur 100 000 et 1 cas sur 1 000 000 (pouvant être jugé acceptable par les grands organismes) de 250, 25 et 2,5 ng/m^3, respectivement. En 2013, l'OMS (2013) a produit un autre document en indiquant que, malgré le fait que les études pour déterminer une valeur de risque unitaire datent de plusieurs

années et le fait que de nouvelles études épidémiologiques existent, la valeur du risque unitaire ne changerait pas sur la base de celles-ci.

L'OMS mentionne par ailleurs que, même si les effets dermatologiques du nickel sont les plus fréquents, de tels effets ne sont pas considérés comme étant étroitement liés aux niveaux de nickel dans l'air ambiant. D'autres organismes ne proposent pas la dérivation d'une valeur guide pour le nickel basée sur un calcul de risque unitaire, puisqu'il y a peu d'évidence que le mode d'action cancérogène soit un effet génotoxique (Oller et al., 1997) (voir section sur les effets cancérogènes) et qui justifierait l'utilisation de l'approche par défaut sans seuil.

8.5 « Minimal Risk Levels » (MRLs) proposées par ATSDR

L'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), localisée à Atlanta, en Georgie, est une agence de santé publique fédérale du U.S. Department of Health and Human Services (DHHS). Cet organisme établit des documents de revue, nommés « Toxicological profiles », pour décrire les risques pour la santé humaine associés à l'exposition aux substances dangereuses dans la population. Dans ce contexte, l'ATSDR propose des valeurs de référence toxicologiques définies comme étant des « Minimal Risk Levels » (MRL). Un MRL est une estimation d'exposition humaine quotidienne à une substance dangereuse susceptible d'être sans risque appréciable d'effets nocifs non cancérogènes sur la santé pendant une durée d'exposition donnée. L'ATSDR a adopté une approche semblable à celle utilisée par le U.S. EPA pour dériver une dose de référence (RfD) ou une concentration de référence (RfC). Les MRL sont uniquement établis sur la base des effets non cancérogènes. Des MRL peuvent être calculés pour des expositions aiguës, intermédiaires et chroniques par inhalation ou par voie orale.

8.5.1 « Minimal Risk Level » (MRL) pour une exposition aiguë

L'ATSDR n'a élaboré aucune valeur de MRL pour une exposition aiguë. L'Agence a jugé que l'information était insuffisante. L'ATSDR indique toutefois qu'il y a une preuve solide que les voies respiratoires sont la cible la plus sensible après une exposition par inhalation. L'ATSDR n'a pas retenu les données des études du NTP (1996a, 1996b, 1996c) pour dériver une valeur de MRL pour une exposition aiguë. Il justifie ceci par le fait que la plus faible concentration testée pour la forme la plus toxique du nickel en termes d'effets non cancérogènes, soit le sulfate de nickel, était un LOAEL sévère de 0,7 mg Ni/m^3 pour les effets respiratoires et le poids corporel. L'ATSDR n'a pas retenu non plus l'étude d'immunotoxicité de Graham et al. (1978), qui ont établi une valeur inférieure de LOAEL de 0,25 mg Ni/m^3 et un NOAEL de 0,1 mg Ni/m^3 pour le chlorure de nickel soluble, parce que les voies respiratoires n'ont pas été examinées. Il souligne qu'il n'est pas possible de savoir si le NOAEL pour l'immunotoxicité serait également un NOAEL pour les effets respiratoires.

8.5.2 « Minimal Risk Level » (MRL) pour une exposition de durée intermédiaire

Le MRL par inhalation pour une exposition de durée intermédiaire a été établi à 200 ng Ni/m^3 à partir de l'étude du NTP sur le sulfate de nickel (1996c). Ce MRL a été calculé en divisant le HEC de 0,0052 mg Ni/m^3 déterminé à partir d'un NOAEL (défini comme NOAEL_HEC) par un facteur d'incertitude de 30 (3 pour FI_A et et 10 pour FI_H). Le NOAEL_HEC a été calculé en utilisant les équations suivantes:

NOAEL_ADJ = 0,06 mg Ni/m^3 x 6 heures/24 heures x 5 jours/7 jours = 0,011 mg Ni/m^3
NOAEL_HEC = NOAEL_ADJ x $RDDR_r$ = 0,011 mg Ni/m^3 x 0,474 = 0,0052 mg Ni/m^3

Le « regional deposited dose ratio » ($RDDR_r$) pour la région pulmonaire a été utilisé pour extrapoler les doses déposées chez le rat à des doses déposées chez l'humain. Le $RDDR_r$ a été calculé en utilisant le logiciel du U.S. EPA et les paramètres suivants: taille des particules (diamètre aérodynamique médian en masse, MMAD) de 2,11 µm avec un écart type géométrique de 2,7; valeurs par défaut de poids corporel humain de 70 kg, volume minute de 13 l et surface pulmonaire de 54 m^2; valeurs par défaut de poids corporel du rat Fischer 344 femelle de 0,124 kg, volume minute de 101,3 ml et surface pulmonaire de 0,34 m^2. Le $RDDR_r$ est basé sur l'équation suivante :

$$RDDR_r = \frac{(10^{-6} \times C_i)_A}{(10^{-6} \times C_i)_H} \times \frac{(SA_r)_H}{(SA_r)_A} \times \frac{(\dot{V}_E)_A}{(\dot{V}_E)_H} \times \frac{(F_r)_A}{(F_r)_H}$$

où C_i est la concentration déposée aux poumons (mg/m^3), SA est la surface corporelle (cm^2 ou m^2), V_E est le volume minute (ml/min), F_r est la fraction déposée dans la région r. L'indice A décrit l'animal et l'indice H, l'humain.

Selon l'ATSDR, la dérivation d'un MRL de durée intermédiaire sur la base de l'étude du NTP du sulfate de nickel (NTP 1996c) permettrait de protéger contre la toxicité d'autres composés du nickel. Dans l'étude du NTP sur le sulfate de nickel, une hyperplasie des macrophages alvéolaires a été observée chez des rats exposés aux deux concentrations les plus faibles (0,03 et 0,06 mg Ni/m^3). L'ATSDR indique que le NTP a noté que lorsque les effets pulmonaires consistaient uniquement en une hyperplasie des macrophages alvéolaires, il n'y avait qu'une légère augmentation du nombre de macrophages alvéolaires et les différences entre les témoins et les animaux exposés au nickel étaient subtiles; le score de sévérité pour l'hyperplasie des macrophages alvéolaires était de 1,0 (minime). L'ATSDR rappelle aussi que selon le NTP et soutenu par Benson et al. (1995), l'hyperplasie minime des macrophages alvéolaires n'était pas considérée comme indésirable, car elle est considérée comme faisant partie de la réponse physiologique normale aux particules inhalées et ne devrait pas compromettre la capacité du poumon à éliminer les corps étrangers.

8.5.3 « Minimal Risk Level » (MRL) pour une exposition chronique

Considérant que le MRL pour une exposition chronique est déterminé seulement pour des effets non cancérogènes, l'ATSDR a établi une valeur de MRL à 90 ng Ni/m^3 à partir de l'étude chronique du NTP sur l'inflammation pulmonaire induite par le sulfate de nickel (NTP 1996c). Cette forme de nickel a montré le plus faible LOAEL pour la toxicité respiratoire chronique non cancérogène comparativement au sous-sulfure et à l'oxyde de nickel. En effet, comme pour les expositions de courte et de moyenne durée, les études animales du NTP (1996a, b, c) suite à l'exposition chronique au sulfate de nickel, au sous-sulfure de nickel ou à l'oxyde de nickel ont montré une inflammation pulmonaire active chronique. Le NOAEL chronique pour les effets respiratoires de 0,03 mg/m^3 établi dans l'étude du NTP pour le sulfate de nickel a servi de point de départ pour établir le MRL pour une exposition chronique. Ce MRL a été calculé en divisant le NOAEL_HEC de 0,0027 mg Ni/m^3 par un facteur d'incertitude de 30 (3 pour FI_A et et 10 pour FI_H). Le NOAEL_HEC a été calculé en utilisant les équations suivantes:

NOAEL_ADJ = 0,03 mg Ni/m^3 (NOAEL chronique - effets respiratoires) x 6 heures/24 heures x 5 jours/7 jours = 0,0054 mg Ni/m^3

NOAEL_HEC = NOAEL_ADJ x $RDDR_r$ = 0,0054 mg Ni/m^3 x 0,506 = 0,0027 mg Ni/m^3

Le $RDDR_r$ a été utilisé pour extrapoler les doses déposées au niveau pulmonaire chez le rat à celles déposées chez l'humain. Les paramètres suivants ont été utilisés pour calculer le $RDDR_r$: taille moyenne des particules (MMAD) de 2,5 µm avec un écart type géométrique de 2,38 (tel que rapporté par le NTP (1996c)); valeurs par défaut de poids corporel humain de 70 kg, volume minute de 13 l et surface pulmonaire de 54 m^2; valeurs par défaut de poids corporel du rat F344 femelle de 0,229 kg, volume minute de 167,3 ml et surface pulmonaire de 0,34 m^2. Selon l'ATSDR, la dérivation d'un MRL à partir des données du NTP sur le sulfate de nickel, qui est la forme qui a montré le plus faible LOAEL par rapport au sous-sulfure de nickel et oxyde de nickel, permettrait de protéger contre la toxicité d'autres composés du nickel.

9. DÉTERMINATION DE VALEURS GUIDES (CRITÈRES DE QUALITÉ DE L'AIR) OU NORMES POUR LE NICKEL DANS L'AIR PAR DIFFÉRENTS ORGANISMES GOUVERNEMENTAUX ET GROUPES DE TRAVAIL

Différents organismes gouvernementaux et groupes de travail ont élaboré des valeurs guides ou normes de concentrations de nickel dans l'air à ne pas dépasser pour prévenir les effets sur la santé chez les travailleurs et dans la population générale. L'approche utilisée se base sur celle établie et reconnue par la communauté scientifique, telle que décrite précédemment. Dépendant des études considérées pour établir ces valeurs guides ou normes ainsi que des facteurs d'incertitudes utilisés ou encore des modèles de déposition utilisés, les valeurs dérivées peuvent varier. L'exposition aux différentes formes de nickel est aussi considérée dans la dérivation de ces valeurs. En particulier, les principales formes solubles et insolubles sont considérées. De plus, certains organismes calculent également une valeur pour les particules respirables (atteignant les poumons), d'une part, et les particules inhalables (pouvant pénétrer dans le nez et la bouche), d'autre part.

9.1 Valeurs guides (critères de qualité de l'air) ou normes de nickel dans l'air proposées ou établies pour la population générale

9.1.1 Norme du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec

Au Québec, conformément au Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) de la Loi sur la qualité de l'environnement (Gouvernement du Québec, 2017), le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC; anciennement MDDELCC) a établi une norme journalière (sur 24 heures) de 0,014 µg/m^3 pour les composés de nickel dans les matières particulaires de 10 µm ou moins (PM_{10}) dans l'air ambiant (dernière révision de la norme en 2013) (MDDELCC, 2016). La norme découle du critère de qualité de l'air dérivé à partir des recommandations de l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA 2012) du gouvernement californien (California Environmental Protection Agency ou CalEPA). La valeur de la norme a été calculée à partir de la concentration de référence du OEHHA (2012) de 0,2 µg/m^3 (ou 200 ng/m^3) pour une exposition de 1 heure, définie comme « Reference Exposure Level » aiguë (aREL) pour les composés de nickel. Ce aREL est basé sur l'étude d'immunotoxicité aiguë de Graham et al. (1978) chez des souris exposées par inhalation au chlorure de nickel pendant 2 heures (voir section suivante pour le détail sur l'établissement des RELs pour la Californie). Considérant la méthode d'échantillonnage sur 24 heures au Québec pour le suivi des concentrations de composés de nickel dans l'air ambiant (avec un échantillonneur à haut débit) et de l'impossibilité de vérifier les concentrations sur une période d'échantillonnage de 1 heure, le MDDELCC (2013) a traduit la valeur de aREL pour 1 heure établie par l'OEHHA (2012) en équivalent sur 24 heures, en se servant de la Loi de Haber (1924). Cette Loi stipule que les concentrations pour une période d'exposition peuvent être extrapolées à une autre période d'exposition en considérant que C1 x t1 = C2 x t2, où C1 et C2 sont les concentrations aux temps t1 et t2, respectivement.

Brièvement, pour l'établissement d'un aREL, l'OEHHA (2012) a réanalysé les données de Graham et al. (1978) sur la relation linéaire entre les concentrations de chlorure de nickel chez les souris exposées (µg/m^3) et la réponse immunitaire, par une approche statistique, et a établi

une valeur de limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95% de la benchmark dose associée à un pourcentage de réponse de 5% (BMDL05) de 165 µg Ni/m^3. En utilisant ce BMDL05 de 165 µg Ni/m^3 pour une exposition de 2 heures comme point de départ (POD), le MDDELCC (2013) a dérivé une valeur pour 24 heures de 14 µg/m^3. Un facteur d'incertitude total de 1000 a ensuite été appliqué pour dériver la norme de 0,014 µg/m^3 (ou 14 ng/m^3) sur 24 heures, considérant des valeurs par défaut de FI_A de 10, de FI_H de 10 et de FI_L de 10 pour l'utilisation d'un BMDL au lieu d'un NOAEL.

Il est à noter que la valeur de 0,014 µg Ni/m³ calculée correspond également à la valeur de REL chronique (cREL) pour le nickel et ses composés (excepté l'oxyde de nickel) de 0,014 µg Ni/m³ établie par le OEHHA (2012) sur la base des effets pulmonaires non néoplasiques observés dans l'étude chronique du NTP (1996c) sur le sulfate de nickel (voir section suivante pour le détail).

Le MDDELCC (2013) avait aussi dérivé une concentration sans effet nocif observé par inhalation (définie comme étant une CSEN-i) visant à prévenir les effets cancérogènes pulmonaires du nickel. Une valeur moyenne annuelle de 0,002 µg/m^3 a été dérivée, correspondant à une concentration associée à une probabilité d'excès de risque de cancer du poumon de 1 cas sur 1 000 000. Celle-ci a été établie à partir du risque unitaire dérivé par l'OMS (2000) de 3,8 x 10^{-4} $(\mu g/m^3)^{-1}$ (voir section précédente), appuyée par les valeurs de risque unitaire calculées par le U.S. EPA (1991) et le Texas Commission on Environmental Quality (2011) (2,4 et 1,7 x 10^{-4} $(\mu g/m^3)^{-1}$, respectivement. Cette valeur n'a par contre pas été considérée pour l'établissement de la norme.

Le MDDELCC (2013) mentionne que la norme doit être appliquée à tous les composés du nickel, incluant les oxydes de nickel, les sulfures de nickel et les composés solubles (sulfate et chlorure de nickel). Il mentionne aussi que la forme sulfate est probablement la forme la plus abondante dans l'air, compatible avec ce qui a été rapporté par d'autres organismes (OEHHA, 2012; CSTEE, 2001).

9.1.2 « Reference Exposure Levels » (RELs) pour la Californie (OEHHA)

L'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) du gouvernement californien (California Environmental Protection Agency ou CalEPA) est responsable d'établir des guides pour l'analyse des risques associés aux contaminants environnementaux et développe des concentrations de référence dans l'air ambiant définies comme étant des « Reference Exposure Levels (RELs) ». L'OEHHA (2012, 2013) a établi quatre valeurs de référence pour une exposition par inhalation au nickel et ses composés, soit une valeur de REL pour une exposition de 1 heure de 0,2 µg Ni/m³ pour la toxicité aiguë, un REL pour une exposition répétée de 8 heures de 0,06 µg Ni/m³, un REL chronique pour le nickel et ses composés (excepté l'oxyde de nickel) de 0,014 µg Ni/m³ et un REL chronique pour l'oxyde de nickel de 0,020 µg Ni/m³ (OEHHA 2012, 2013). Ces valeurs guides sont basées sur les effets non cancérogènes. Afin de déterminer ces valeurs et de choisir les « points de départ » (« point of departure » ou POD) à partir des données disponibles dans la littérature, l'OEHHA a choisi d'adopter la définition générale des effets indésirables du U.S. EPA comme étant «un changement biochimique, une altération fonctionnelle ou une lésion pathologique affectant négativement la performance de l'organisme entier ou réduisant la capacité d'un organisme à relever un défi supplémentaire ». En évaluant la relation dose-réponse pour les effets toxicologiques non cancérogènes, leur objectif est de définir des concentrations de contaminants chimiques, pour différentes périodes

d'exposition, en dessous desquelles aucun effet nocif n'est anticipé dans la population générale, y compris les sous-populations sensibles.

REL aigu

Pour la dérivation d'un REL aigu, l'OEHHA a conclu que les études disponibles sur la toxicité pulmonaire aiguë chez l'humain et l'animal étaient inadéquates. Ils ont indiqué que les données de toxicité pulmonaire chez l'humain se limitaient à des rapports de cas et à des études cliniques sur un faible nombre d'individus ou encore à des études épidémiologiques en milieu de travail avec des données d'exposition inadéquates. Ils ont aussi indiqué que, dans les études de toxicité aiguë chez l'animal, les voies d'exposition étaient en général moins pertinentes (injection sous-cutanée, installation intratrachéale, etc) ou les paramètres toxicologiques étudiés ne correspondaient pas aux effets critiques. L'OEHHA a rapporté que les études d'immunotoxicité aiguë ou à court terme fournissaient une meilleure base pour la dérivation d'un REL aigu (aREL). Dans ce contexte, l'étude d'immunotoxicité de Graham et al. (1978), appuyée de celle d'Adkins et al. (1979), a servi de base pour l'établissement du aREL. Une valeur de aREL de 0,2 µg Ni/m^3 a ainsi été établie sur la base de l'étude de Graham et al. (1978). Tel que mentionné précédemment, Graham et al. (1978) ont exposé des souris femelles albinos Swiss âgées de six semaines (14-29 par groupe) par inhalation à 0, 100, 250, 375 et 490 µg Ni/m^3 sous forme de dichlorure de nickel soluble ($NiCl_2$) pendant deux heures (avec 99% des particules ayant un diamètre médian ≤ 3 µm). Immédiatement après exposition aux aérosols, tous les animaux, y compris les témoins, ont été immunisés avec une suspension de globules rouges de mouton injectée par voie intrapéritonéale et la réponse immunitaire a été mesurée par une technique directe de dosage des plaques de Jerne, évaluant la capacité de production d'anticorps IgM par des cellules spléniques récoltées le quatrième jour après immunisation. Pour l'établissement de ce aREL, l'OEHHA a réanalysé les données de Graham et al. (1978) sur la relation linéaire entre les concentrations de chlorure de nickel chez les souris exposées (µg/m^3) et la réponse immunitaire (diminution du nombre de plaques/10^6 cellules spléniques) par une approche statistique et a établi une valeur de limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95% de la benchmark dose associée à un pourcentage de réponse de 5% (BMDL05) de 165 µg Ni/m^3. Une extrapolation de la BMDL05 de 165 µg Ni/m^3 pour une exposition de 2 heures à celle d'une exposition d'une heure a été faite. Cette extrapolation se base sur une modification de la Loi de Haber (Haber et al. 1924) proposée par Ten Berge et al. (1986) pour l'ajustement des concentrations dans l'air établies pour une période donnée à une autre période qui considère que $C^n \times t = k$, où C est la concentration, t est le temps, k est une constante et n est un facteur spécifique au produit chimique ou à l'effet (« endpoint ») ou une valeur par défaut variant entre 1 et 3 pour extrapoler à des temps plus longs et plus courts, respectivement. Ten Berge et al. (1986) proposent donc que si une concentration est « sécuritaire » pour un temps d'exposition t1, la concentration sécuritaire équivalente C2 pour un temps plus court t2 est égale à $C2 = C1 \times (t1/t2)^{1/2}$. Ceci veut dire que si on réduit le temps d'exposition d'un facteur 2, on peut permettre une concentration d'exposition plus élevée d'un facteur $(2)^{1/2} = 1,414$. En considérant n = 2, l'OEHHA a calculé une valeur de POD ajustée pour la période de temps de 233 µg/m^3. Cette dernière valeur a ensuite été divisée par un facteur d'incertitude de 1000 (FI_A de 10, FI_H de 30 et FI_L de √10 pour le fait qu'un BMDL a été utilisé au lieu d'un NOAEL) pour dériver la valeur de aREL de 0,2 µg/m^3 pour une exposition de 1 heure. La valeur de référence dérivée à partir d'Adkins et al. (1979) a mené à une valeur plus élevée de 0,7 µg/m^3. Une autre étude considérée était celle d'Ishihara et al. (2002) sur les réponses inflammatoires bronchiques et la sécrétion de mucus chez le rat, mais l'exposition de 5 heures/jour x 5 jours/semaine était trop importante pour dériver un aREL pour une exposition de 1 heure.

REL pour une exposition de 8 heures

Pour la dérivation d'un REL de 8 heures, l'OEHHA a utilisé, comme base pour la détermination d'un POD basé sur un NOAEL, l'étude du NTP (1996c) chez des rats exposés par inhalation au sulfate de nickel. Plus spécifiquement, les résultats d'essais biologiques sur les lésions pulmonaires non néoplasiques du NTP (1994c) ont servi à l'établissement de cette REL pour une exposition de 8 heures. Tel que mentionné précédemment, le NTP (1996c) a réalisé une étude chronique sur deux ans chez des rats et souris exposés à des aérosols de particules de sulfate de nickel hexahydraté ($NiSO_4$) respirables (NTP 1996c). Les rats ont été exposés à 0, 0,12, 0,25 ou 0,5 mg $NiSO_4/m^3$ (0, 0,03, 0,06 ou 0,11 mg Ni/m^3), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 16 jours à 104 semaines (MMAD = 2,50 µm, GSD = 2,38, densité = 2,07 g/cm^3). Des évaluations intermédiaires ont été faites à 16 jours et 13 semaines, et à 7 et 15 mois. Les effets chroniques de l'exposition au nickel chez les rats comprenaient des lésions inflammatoires dans les poumons, une hyperplasie des macrophages pulmonaires, une protéinose alvéolaire et une fibrose, en plus d'une hyperplasie des ganglions lymphatiques bronchiques et de l'atrophie épithéliale nasale. À partir de 13 semaines d'exposition chez les rats mâles et femelles exposés à 0,25 et 0,5 mg $NiSO_4/m^3$, c'est-à-dire 0,06 et 0,11 mg Ni/m^3, l'incidence d'inflammation active chronique (accumulations multifocales, minimes à légères, de macrophages, de neutrophiles et de débris cellulaires dans les espaces alvéolaires), d'hyperplasie des macrophages (de sévérité minime à légère habituellement avec un cytoplasme pâle vacuolisé abondant) dans les espaces alvéolaires, de protéinose (quantités minimes ou légères de matière pâle, acellulaire, protéique homogène granulaire ou globulaire éosinophile) dans les espaces alvéolaires et de fibrose était nettement augmentée. L'hyperplasie épithéliale focale alvéolaire était aussi légèrement augmentée chez les rates exposées à 0,5 mg $NiSO_4/m^3$, c'est-à-dire 0,11 mg Ni/m^3. Aucun effet respiratoire indésirable n'a été observé à 0,03 mg Ni/m^3. Par ailleurs, dans cette étude du NTP (1996c), les souris ont été exposées de façon similaire à 0, 0,06, 0,11 et 0,22 mg de Ni/m^3 sous forme de sulfate de nickel hexahydraté (NTP, 1996c). Des modifications pulmonaires, lymphatiques et nasales similaires à celles observées chez les rats ont été rapportées. Aucune fibrose n'a pas été rapportée chez les souris, mais une incidence accrue d'infiltration interstitielle et de protéinose alvéolaire a été observée à des concentrations supérieures ou égales à 0,11 mg Ni/m^3. Aucune constatation clinique ou effet hématologique n'a été observé chez les souris, mais les poids corporels étaient significativement diminués chez tous les groupes de souris femelles exposées au nickel. Les poids corporels des souris mâles étaient réduits seulement dans le groupe exposé à 0,22 mg Ni/m^3.

À partir de ces données, un NOAEL de 0,03 mg Ni/m^3 a été considéré pour l'hyperplasie des macrophages alvéolaires chez les rats. Le modèle de déposition pulmonaire « Multiple-Path Particle Dosimetry » (MPPD2) a ensuite été utilisé pour tenir compte des différences de déposition des particules de nickel dans les voies respiratoires supérieures et inférieures entre les humains et les rats, et considérant que ce dépôt soit l'évènement clé menant à la toxicité pulmonaire. Considérant un facteur d'ajustement dosimétrique (« dosimetric adjustment factor » ou DAF) et un ajustement pour le fait que l'exposition a été réalisée 5 jours sur 7, cette valeur a été traduite en concentration journalière ajustée de 5,7 µg Ni/m^3 (30 µg Ni/m^3 x 0,264 de DAF x 5 jours/7 jours). Le REL pour une exposition de 8 heures de 0,06 $\mu g/m^3$ a ensuite été obtenu en appliquant un facteur d'incertitude global de 100 : i) FI_A de $\sqrt{10}$ et ii) FI_H de 30. Pour la composante toxicocinétique du FI_A, une valeur de 1 a été appliquée considérant l'ajustement dosimétrique pour la toxicocinétique et un facteur d'incertitude de $\sqrt{10}$ a été utilisé pour la composante pharmacodynamique du FI_A, de sorte qu'un FI_A total de $\sqrt{10}$ a été appliqué. Un FI_H de 30 a été utilisé en considérant une valeur de 10 pour la composante pharmacodynamique et de $\sqrt{10}$ pour la composante pharmacocinétique. La valeur de 10 pour la composante pharmacodynamique (au lieu de $\sqrt{10}$) a été considérée pour tenir compte de la sensibilité

potentielle accrue des nourrissons et des enfants par rapport aux adultes à l'exposition continue aux particules de nickel en suspension dans l'air. Il existe également une incertitude pharmacocinétique, mais celle-ci est quelque peu atténuée par le modèle de dépôt qui a également été appliqué à plusieurs structures pulmonaires de l'enfant.

L'étude de Graham et al. (1978) a servi d'étude complémentaire pour justifier la REL de 8 heures, bien que l'OEHHA juge que l'étude du NTP s'avère plus appropriée pour le développement d'un REL pour une exposition de 8 heures, car elle a été réalisée avec des doses multiples chez deux espèces et les deux sexes avec des durées d'exposition prolongées. Basé sur le BMDL05 ajusté pour une exposition de 1 heure de 233 µg/m^3 et considérant une extrapolation pour une durée de 8 heures basée sur l'équation $C^n \times t = k$ (ten Berge et al. 1986) où n = 2, un POD de 82 µg/m^3 a été établi. La valeur de 82 µg/m^3 a ensuite été divisée par un facteur d'incertitude global de 1000 (FI_A de 10, FI_H de 30 et FI_L de $\sqrt{10}$ pour le fait qu'un BMDL a été utilisé au lieu d'un NOAEL) pour obtenir un REL pour une exposition de 8 heures de 0,082 µg/m^3. Comme pour l'étude précédente du NTP, un FI_H de 30 a été utilisé en considérant une valeur de 10 pour la composante pharmacodynamique et de $\sqrt{10}$ pour la composante pharmacocinétique. Ce FI_H de 30 a été justifié par le fait que des expositions répétées au nickel en suspension dans l'air pourraient avoir un impact plus important chez les nourrissons et les enfants que chez les adultes.

REL chronique pour l'exposition au nickel et ses composés (autres que l'oxyde de nickel) et pour l'exposition à l'oxyde de nickel

Pour la dérivation d'un REL chronique pour l'exposition au nickel et ses composés (autres que l'oxyde de nickel), l'OEHHA a utilisé l'étude du NTP (1996c) chez le rat et la souris exposés au sulfate de nickel soluble (décrite plus haut dans la section sur le REL sur 8 heures). Pour la dérivation d'un REL chronique pour l'exposition à l'oxyde de nickel, l'OEHHA a utilisé l'étude du NTP (1996a) chez le rat et la souris exposés à l'oxyde de nickel. L'ensemble de données sur les effets non cancérogènes pour les expositions de 24 mois a été utilisé dans le développement du cREL. Ces études ont montré le même type d'effets non cancérogènes (par exemple, protéinose alvéolaire) chez les rats et les souris et quelle que soit la forme de nickel administrée (formes solubles et insolubles du nickel). Une approche basée sur l'établissement d'un BMDL05 a été utilisée pour définir un POD dans les deux cas.

Pour l'établissement du cREL pour l'exposition au nickel et ses composés (autres que l'oxyde de nickel), l'OEHHA a déterminé un BMDL de 0,0305 mg Ni/m^3 ou 30,5 µg Ni/m^3, ce qui correspond à la moyenne des valeurs obtenues pour la protéinose alvéolaire chez les rats mâles et femelles de l'étude du NTP (1996c). Une valeur de HEC de 1,4 µg/m^3 a ensuite été dérivée à partir des données chez le rat, à l'aide du modèle de dosimétrie de particules MPPD2 (voir description dans la section précédente). Pour la souris, des données publiées sur les calculs de dépôt ont été utilisées puisque le modèle MPPD2 n'analyse pas le dépôt dans le poumon de cette espèce. À la différence du U.S. EPA qui calcule un $RDDR_r$, les valeurs calculées avec le modèle MPPD2 seraient deux fois plus faibles approximativement (0,264 versus 0,554). L'OEHHA a donc utilisé la fraction de déposition calculée par le modèle MPPD2 et celui-ci permet de prédire les valeurs en fonction de l'âge (moyenne de plusieurs prédictions du modèle MPPD2 selon l'âge). Selon l'OEHHA, toutes les prédictions chez les enfants montrent des fractions de déposition supérieures à celles de l'adulte (0,32 à 0,4 contre 0,25 pour les adultes).

Le HEC de 1,4 µg/m^3 pour l'établissement du cREL a été obtenu en convertissant la valeur de BMDL05 de 30,5 µg Ni/m^3 établie à partir d'une exposition de 6 heures par jour, 5 jours par semaine, en une exposition continue de 5,4 µg Ni/m^3 (30,5 µg/m^3 x 6 heures/24 heures x 5 jours/7 jours) puis en multipliant cette valeur par le DAF de 0,264. Le cREL de 0,014 µg/m^3 a ensuite été dérivé en divisant le HEC par un facteur d'incertitude global de 100 : i) FI_A de √10 pour tenir compte de la composante toxicodynamique et considérant que le modèle MPPD2 permet de simuler les différences toxicocinétiques de déposition des particules de nickel dans les voies aériennes, ii) FI_H de 30 et iii) un FI_L de 1 pour le fait qu'un BMDL chronique adéquat est disponible et qu'un NOAEL a été établi dans l'étude du NTP (1996c). Le FI_H considère une valeur de 10 pour la composante toxicodynamique et la sensibilité potentiellement plus élevée des nourrissons et enfants par rapport aux adultes à l'exposition aux particules de nickel en suspension dans l'air et une valeur de √10 pour les différences pharmacocinétiques.

L'OEHHA s'appuie également sur l'étude de Berge et Skyberg (2003) qui ont mesuré la fibrose pulmonaire chez des travailleurs de raffinerie de nickel sur une période de 22 ans. Les auteurs ont trouvé une dose-réponse faible mais positive pour la fibrose pulmonaire et l'exposition cumulée au nickel (exprimée en mg Ni/m^3-année). Un cREL de 0,04 µg/m^3 a été dérivé à partir d'un calcul de BMDL01 de 0,35 mg/m^3–année (associé à un excès de risque de 1%) pour le nickel soluble, converti en une valeur d'exposition continue à vie (8 heures/24 heures x 5 jours/7 jours x 1an/70 ans), auquel un facteur d'incertitude global de 30 a été appliqué (correspondant à un FI_H de 30).

Pour la dérivation d'un REL chronique pour l'exposition à l'oxyde de nickel, l'OEHHA a dérivé un BMDL05 de 117 µg/m^3 à partir de l'étude du NTP (1996a) chez le rat et la souris exposés à l'oxyde de nickel (NiO). Cette analyse est basée sur l'inflammation pulmonaire chez les souris mâles et femelles. Dans l'étude du NTP (1996a), les rats ont été exposés à des concentrations de 0, 0,62, 1,25 ou 2,5 mg d'oxyde de nickel/m^3 (0, 0,5, 1,0 ou 2,0 mg Ni/m^3), 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 104 semaines (diamètre aérodynamique massique médian (MMAD) = 2,8 µm, écart type géométrique (GSD) = 1,87, densité = 7,45 g/cm^3). Les effets chroniques non cancérogènes et cancérogènes ont ensuite été observés. En plus des effets cancérogènes de l'oxyde de nickel, un certain nombre de lésions non cancéreuses ont été observées chez les rats, en particulier dans les poumons. L'incidence de pigmentation inflammatoire dans les alvéoles était significativement plus élevée dans tous les groupes de rats exposés (y compris à la plus faible dose administrée de 0,5 mg Ni/m^3), par rapport aux témoins. La gravité des lésions augmentait avec l'augmentation de l'exposition. Une hyperplasie alvéolaire atypique a également été observée dans tous les groupes de rats exposés. Une hyperplasie lymphoïde a été observée dans les ganglions lymphatiques bronchiques des rats mâles et femelles exposés à 1 mg Ni/m^3 ou plus à 7 et 15 mois et l'incidence augmentait généralement avec l'augmentation de la concentration à la fin de l'étude de 2 ans. Les rats femelles présentaient une incidence accrue d'hyperplasie médullo-surrénalienne à tous les niveaux d'expositions à l'oxyde de nickel. Les poids corporels des rats étaient significativement plus faibles dans les groupes exposés à 2,0 mg Ni/m^3 pour les deux sexes et chez les mâles exposés à 1,0 mg Ni/m^3. Également dans cette étude du NTP (1996a), des souris ont été exposées de façon similaire aux rats, à des concentrations d'oxyde de nickel de 0, 1,0, 2,0 ou 3,9 mg Ni/m^3. Les résultats ont montré des changements inflammatoires pulmonaires similaires à ceux observés chez les rats, en plus d'une incidence plus élevée de pigmentation de la région alvéolaire à toutes les concentrations d'exposition par rapport aux témoins. Une hyperplasie des ganglions lymphatiques bronchiques était également évidente chez toutes les souris exposées au nickel. Le poids corporel des souris était légèrement mais significativement plus faible dans le groupe exposé à 3,9 mg Ni/m^3, comparativement aux témoins.

La dérivation du cREL pour l'oxyde de nickel est similaire à celle des autres composés de nickel. Cependant, le DAF diffère légèrement. Un HEC de 2,0 µg/m^3 a été établi en ajustant le BMDL05 calculé à partir d'une exposition de 6 heures par jour, 5 jours par semaine à une exposition continue de 20,9 µg Ni/m^3 (117 µg/m^3 x 6 heures/24 heures x 5 jours/7 jours) puis en multipliant cette valeur par le DAF de 0,096. Puisque le modèle MPPD2 ne calcule pas la déposition de particules dans les voies respiratoires chez la souris, le calcul pour obtenir la DAF est basé sur l'étude de Hsieh et al. (1999). Ces auteurs ont utilisé les valeurs suivantes pour les paramètres reliés à l'exposition à l'oxyde de nickel: diamètre aérodynamique massique médian (MMAD) de 2,8 µm avec un écart type géométrique (GSD) de 1,87; densité de 7,45 g/cm^3; concentrations de 1,25 à 5,0 mg de NiO/m^3. La fraction de déposition prédite chez la souris pour la région trachéobronchique (TB) était de 0,0096 et pour les alvéoles (Alv) de 0,0258 avec un total (TB + Alv) de 0,0354. Ces fractions de déposition chez la souris obtenues dans l'étude de Hsieh et al. (1999c) ont permis à l'OEHHA de calculer un DAF inférieur de 0,096.

Le cREL de 0,02 µg/m^3 a ensuite été dérivé en divisant le HEC par un facteur d'incertitude global de 100. Ce facteur considère i) un FI_A de √10 pour tenir compte de la composante toxicodynamique et considérant que le facteur d'ajustement dosimétrique DAF calculé permet de simuler les différences toxicocinétiques de déposition des particules de nickel dans les voies aériennes, ii) un FI_H de 30 et iii) un FI_L de 1 pour le fait qu'un BMDL chronique adéquat est disponible. Le FI_H considère une valeur de 10 pour la composante toxicodynamique et la sensibilité potentiellement plus élevée des nourrissons et enfants par rapport aux adultes à l'exposition aux particules de nickel en suspension dans l'air et une valeur de √10 pour les différences pharmacocinétiques.

L'OEHHA précise que les données épidémiologiques décrivent principalement les taux de mortalité par cancer reliés à l'exposition professionnelle aux composés du nickel, mais n'examine pas spécifiquement les effets non cancérogènes. Par ailleurs, bien que les réactions d'hypersensibilité au nickel n'ont pas été étudiées quantitativement, de nombreux cas d'allergies et de dermatites ont été rapportés chez des travailleurs exposés.

L'OEHHA souligne également que les études du NTP (1996a, b, c) montrent que l'intensité des effets pulmonaires chroniques non cancérogènes dépend de la forme de nickel. Les effets pulmonaires indésirables de l'oxyde de nickel étaient moins graves (absence de fibrose, moindre gravité de l'inflammation pulmonaire chronique) à des doses supérieures à celles associées aux effets pulmonaires du sulfate de nickel et du sous-sulfure de nickel. L'OEHHA spécifie aussi que la toxicité pulmonaire du sous-sulfure de nickel, qui est une forme relativement insoluble, étant supérieure à celle de l'oxyde de nickel et plus proche de celle du sulfate de nickel, le REL chronique dérivé à partir de l'étude du NTP sur le sulfate de nickel peut être utilisé pour tous les composés de nickel (autres que les oxydes de nickel). De plus, comme mentionné par d'autres organismes, l'OEHHA indique que, bien que les effets pulmonaires non néoplasiques observés dans les études animales sont relativement bénins, des effets similaires chez l'humain peuvent être graves, voire mortels.

9.1.3 Critères de qualité de l'air (CQAA) ou « Ambient Air Quality Criteria » (AAQCs) pour l'Ontario

En 2016, le ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique de l'Ontario (MOE) a mis en vigueur de nouvelles valeurs de « Ambient Air Quality Criteria (AAQCs) » ou Critère de qualité de l'air ambiant (CQAA) pour le nickel total, soit le nickel et ses composés, pour différentes périodes d'exposition, afin de protéger pour toutes les formes de

nickel. Les nouveaux CQAA s'appuient sur un long processus qui vise à réviser les standards de qualité de l'air en Ontario. Le processus pour la révision des CQAA pour le nickel et les composés du nickel dans l'air ambiant a inclus une vaste consultation, incluant le secteur industriel et minier. Tout document et questionnement ont été pris en considération dans l'élaboration des nouveaux CQAA.

Un CQAA moyen annuel de 0,02 µg/m^3 et un CQAA moyen sur 24 heures de 0,1 µg/m^3 ont été établis pour le nickel et ses composés dans la fraction granulométrique des matières particulaires de 10 µm ou moins (PM10), sur la base des effets cancérogènes et non cancérogènes associés à l'exposition à ces composés. Un CQAA moyen annuel de 0,04 µg/m^3 et un CQAA moyen sur 24 heures de 0,2 µg/m^3 ont par ailleurs été établis pour le nickel et ses composés dans les matières particulaires totales en suspension (« total suspended particulate matter » ou TSPM); ces dernières valeurs sont également fondées sur les effets cancérogènes et non cancérogènes associés à l'exposition à ces composés.

Le CQAA de 0,02 µg/m^3 pour le nickel et ses composés dans la fraction granulométrique des PM10 a essentiellement été déterminé en considérant l'approche utilisée par l'Union européenne (Commission européenne (CE, 2001)) et son comité d'expert le Comité scientifique Comité scientifique sur la toxicité, l'écotoxicité et l'Environnement ou « Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment » (CSTEE, 2001)). L'approche comprenait: (1) l'évaluation des effets non cancérogènes; (2) la détermination d'un risque unitaire (« Unit risk ») de cancer; (3) la détermination d'un seuil de cancérogénicité. Une décision globale a ensuite été fondée sur le poids de la preuve (« weight of evidence »). Dans l'ensemble, le ministère de l'Environnement de l'Ontario estime que cette approche est raisonnable et défendable, et que le CQAA de 20 ng Ni/m^3 exprimé en moyenne annuelle dans les PM10 protégerait contre les effets cancérogènes et non cancérogènes.

Les résultats de la spéciation des particules dans l'air en Ontario indiquent que les deux formes principales dans l'air ambiant sont le sulfate de nickel et l'oxyde de nickel. Selon le Ministère, l'évaluation des risques basée sur les études toxicologiques et épidémiologiques pour ces formes de composés du nickel (et les mécanismes d'action dans le corps associés) permettrait de caractériser adéquatement les risques associés à l'exposition au nickel total (toutes les formes) dans l'air ambiant de l'Ontario. La présence éventuelle d'un faible pourcentage de sous-sulfure de nickel a également été prise en compte.

Sur la base des principales formes de nickel retrouvées dans l'air ambiant en Ontario, le Ministère de l'Environnement de l'Ontario a donc considéré la valeur limite de l'Union européenne de 20 ng/m^3 (moyenne annuelle), comme protectrice des effets non cancérogènes. La valeur limite de l'Union européenne est basée sur les données de toxicité pulmonaire non néoplasiques du sulfate de nickel (étude du NTP 1996c). Les concentrations de sulfate de nickel seraient d'ailleurs probablement plus élevées en Ontario qu'en Europe, de sorte que le Ministère justifie encore plus la dérivation d'une valeur limite sur la base des données d'effets reliés à l'exposition au sulfate de nickel.

Le ministère a également considéré la valeur limite de l'Union européenne de 20 ng/m^3 (moyenne annuelle) comme protectrice contre les effets cancérogènes des formes oxydes du nickel (NiO et $Ni(OH)_2$). Cette valeur est également compatible avec le risque unitaire dérivé par le Centre d'Etude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire (CEPN) pour l'oxyde de nickel.

La valeur limite de 20 ng/m^3 (moyenne annuelle) devrait par ailleurs protéger contre les effets des formes sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2) selon le ministère de l'Environnement de l'Ontario, considérant son faible pourcentage dans l'air ambiant. Plus précisément, les résultats globaux de la spéciation du nickel à l'échelle de la province ne montrent aucun niveau détectable de sous-sulfure de nickel. Même en présence de faibles niveaux de sous-sulfure de nickel (≈ 10% du nickel total), la valeur limite de 20 ng/m^3 a été jugée compatible avec la concentration associée à un risque acceptable dérivée à partir du risque unitaire établi par l'OMS (1 cas sur 100 000 pouvant être jugé acceptable par les grands organismes pour une exposition à 25 ng/m^3).

En somme, le ministère de l'Environnement de l'Ontario a considéré raisonnable d'utiliser la valeur limite de 20 ng/m^3 dérivée par l'Union européenne comme CQAA (moyenne annuelle) considérant les aspects de spéciation dans l'air et de toxicité des différentes formes de nickel.

Par ailleurs, une moyenne annuelle de CQAA de 0,04 µg/m^3 pour le nickel et ses composés (nickel total) dans les matières particulaires totales en suspension (TSPM) a été dérivé du CQAA, exprimé en en moyenne annuelle, de 0,02 µg/m^3 pour les PM10 et considère les données de Santé Canada signalant qu'en moyenne, à l'échelle du Canada, environ 50% de la concentration de TSPM dans l'air ambiant est constituée de particules PM10. Cette tendance est basée sur plusieurs années de mesures de PM10 et TSPM par le Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA). Enfin, pour passer d'un CQAA exprimé en moyenne annuelle à un CQAA exprimé en moyenne sur 24 heures, le ministère utilise généralement un facteur de conversion de 5. Ce facteur, non spécifique au nickel, est fondé sur des données empiriques de surveillance, des ratios de concentrations observées pour différentes durées moyennes et des considérations météorologiques.

9.1.4 Valeurs limites dans l'air ambiant établies par l'Union européenne

La valeur limite dans l'air ambiant établie par l'Union européenne découle de l'évaluation du Comité Scientifique sur la Toxicité, l'Ecotoxicité et l'Environnement (CSTEE, 2001) et de l'opinion rendue au cours de la session plénière tenue à Bruxelles les 6 et 7 Mars 2001. Cette valeur a été dérivée essentiellement à partir des résultats des études du NTP (1996a, b, c).

Le groupe de travail du CSTEE (2001) considère la concentration de 0,06 mg Ni/m^3 pour le sulfate de nickel (NTP 1996c) comme LOAEL et comme point de départ de la dérivation de la valeur limite basée sur les effets non cancérogènes. La concentration de 0,03 mg Ni/m^3 identifiée par le NTP (1996c) n'a pas été considérée comme un NOAEL par le CSTEE (2001), étant donné les effets observés aux évaluations intermédiaires. En effet, le CSTEE (2001) s'appuie sur le fait qu'à toutes les concentrations testées pour le sous-sulfure de nickel (> 0,11 mg Ni/m^3) et l'oxyde de nickel (> 0,5 mg Ni/m^3), une inflammation active chronique au niveau du tractus respiratoire a été observée sur les deux années d'exposition par inhalation chez le rat et la souris. De plus, une augmentation significative de l'inflammation active chronique et du poids des poumons a été observée chez les rats par rapport aux témoins, après une évaluation intermédiaire de l'exposition au sulfate de nickel à la concentration de 0,03 mg Ni/m^3. Si le choix de la concentration de 0,03 mg Ni/m^3 comme NOAEL chez le rat est sujet à discussions, chez la souris, la concentration de 0,06 mg Ni/m^3 peut être considérée comme un LOAEL car elle est la plus faible concentration par inhalation pour laquelle une inflammation active chronique, une bronchiolisation et une hyperplasie des macrophages pulmonaire ont été observées.

En utilisant la concentration de 0,06 mg Ni/m^3 comme LOAEL et donc comme POD, un facteur d'incertitude FI_L de 10 a été appliqué pour extrapoler de LOAEL à NOAEL. Par ailleurs, puisque

l'étude par inhalation du NTP (1996c) considère une exposition sur deux ans, 6 heures par jour, 5 jours/semaine, donc non continue, un facteur de conversion pour une exposition en continue a été calculé comme suit: 24 heures/6 heures x 7 jours/5 jours = 5,6. Le CSTEE a ensuite arrondi ce facteur à 6.

Le CSTEE (2001) a aussi appliqué un FI_A total de 10. En effet, en l'absence de données montrant que les humains sont moins sensibles que les rongeurs, le CSTEE (2001) a considéré une valeur par défaut de √10 (ou 3,16) pour la composante toxicodynamique du FI_A. Une valeur de √10 (ou 3,16) a également été appliquée pour la composante toxicocinétique du FI_A pour tenir compte de l'absence de données toxicocinétiques comparatives entre l'animal et l'humain. Un facteur d'incertitude FI_H de 10 a également été appliqué pour tenir compte de la variabilité interindividuelle dans la toxicodynamique et toxicocinétique. Un facteur d'incertitude total de 6000 a donc été appliqué (FI_L de 10, facteur de conversion pour une exposition continue de 6, FI_A de 10 et FI_H de 10). À partir de la valeur de POD de 0,06 mg/m^3 et du FI total de 6000, une valeur limite pour le sulfate de nickel de 10 ng Ni/m^3 a été dérivée. Considérant que les composés solubles de nickel représentent approximativement 50% du total des composés de nickel, une valeur limite de 20 ng Ni/m^3 a été établie pour le nickel et ses composés. En effet, de nombreuses mesures de spéciation du nickel ambiant effectuées en Allemagne sur plusieurs sites montrent que le nickel soluble représente approximativement 50% de la composition totale des espèces de nickel dans l'air ambiant en milieu urbain (Feuchtjohann et al., 2000).

En ce qui concerne les effets cancérogènes du nickel, le CSTEE (2001) a considéré que les effets génotoxiques ne peuvent être écartés (Hartwig, 1998). Selon les études du NTP (2016a, b, c) réalisées sur les deux sexes de rats et de souris, exposés à l'oxyde de nickel, au sous-sulfure de nickel et au sulfate de nickel hexahydraté, 6 heures/jour, 5 jours/semaine sur 104 semaines, une cancérogénicité a été notée pour l'oxyde de nickel et le sous-sulfure de nickel, contrairement au sulfate de nickel pour lequel aucune évidence n'a été établie. Tenant compte d'autres études montrant le potentiel plus élevé d'induction des tumeurs locales du sulfate de nickel par rapport au nickel insoluble, le CSTEE (2001) considère donc que l'absence de cancérogénicité évidente du sulfate de nickel hexahydraté dans l'étude de NTP ne peut être considérée comme une absence évidente de cancérogénicité pour les composés solubles de nickel. Ils mentionnent aussi que la cancérogénicité serait reliée à la biodisponibilité d'ion Ni^{2+}.

Le CSTEE supporte donc les recommandations de l'OMS (1999) et l'établissement d'un risque unitaire de 3,8 x 10^{-4} par (µg/m^3), basé sur une approche sans seuil pour la cancérogénicité. Considérant ce risque unitaire, une exposition à des concentrations de 25 ng Ni/m^3 et 2,5 ng Ni/m^3 serait associée à un risque accru de 1 sur 100 000 et 1 sur 1 000 000 de développer un cancer du poumon, respectivement. Ces estimations sont considérées conservatrices étant donné que le potentiel cancérogène diffère selon les formes de nickel et que le sous-sulfure de nickel, ayant le potentiel plus élevé, constitue seulement 10% du nickel total dans l'air. Le CSTEE considère donc que la valeur de 20 ng Ni/m^3 retenue pour les effets non cancérogènes devrait également protéger contre les effets cancérogènes des composés de nickel dans l'air ambiant.

À partir de la valeur limite de 20 ng/m^3, l'Union européenne a défini deux valeurs seuils, un « upper assessment threshold (UAT) » et un « lower assessment threshold » (LAT). Ces valeurs seuils sont plus faibles que la valeur limite et sont définies comme un pourcentage de la valeur limite. Ces seuils sont de 14 et 10 ng/m^3, respectivement, pour le nickel et ses composés et correspondent à 70 et 50% de la valeur limite. Le UAT désigne un niveau en dessous duquel une combinaison de mesures fixes et de techniques de modélisation ou de mesures indicatives peut être utilisée pour évaluer la qualité de l'air ambiant. Le LAT correspond à un niveau en

dessous duquel seules des techniques de modélisation ou d'estimations objectives peuvent être utilisées pour évaluer la qualité de l'air ambiant. Un dépassement de la valeur limite déclenche des actions de gestion de la qualité de l'air.

9.1.5 Critère de qualité de l'air pour la France

La France applique la valeur limite annuelle moyenne de 20 ng/m^3 proposée par l'Union européenne. Dans un rapport d'expertise de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail française (ANSES), il est mentionné qu' « En 2008, la législation européenne s'est simplifiée et clarifiée en matière de qualité de l'air avec la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 qui fusionne dans un seul acte la directive cadre de 1996 et 3 des directives filles (99/30/CE, 2000/69/CE et 2002/3/CE). Cette directive prévoit également des mesures relatives aux particules fines (PM2,5). La dernière directive fille 2004/107/CE relative à la fixation de valeurs limites pour les HAP, l'As, le Cd, le Hg et le Ni est restée quant à elle en vigueur. Les normes de qualité de l'air associées à ces réglementations européennes s'imposent aux États membres mais ces derniers peuvent fixer des normes spécifiques à condition qu'elles ne soient pas moins protectrices que les normes européennes ».

9.1.6 Critère de qualité de l'air pour la Norvège

Le critère de qualité de l'air norvégien pour une exposition annuelle au nickel est basé sur la valeur limite établie par l'Union européenne (Norwegian Institute of Public Health, 2018). L'Union européenne a fixé une valeur annuelle moyenne de 20 ng/m^3. Cette valeur est accompagnée d'une valeur « Upper assessment threshold (UAT) de 14 ng/m^3 et d'un « Lower assessment threshold » (LAT) de 10 ng/m^3 (Norwegian Environment Agency, 2017).

9.1.7 Critère de qualité de l'air pour l'Australie

Le « Departement of the Environment and Energy » du gouvernement australien mentionne que l'Australie n'a pas de normes ou critères de qualité de l'air nationaux (« ambiant quality standard ») pour les émissions atmosphériques. Les autorités chargées de la protection de l'environnement dans chaque État et territoire fixent de telles valeurs. De ce fait, le Département de la Santé du gouvernement de l'Ouest australien (Government of Western Australia, 2018) a adopté un critère de qualité de l'air annuel de 0,003 µg/m^3, basé sur le calcul de risque unitaire de l'OMS (2000). Ce Département recommande que les concentrations annuelles de nickel dans l'air ambiant demeurent à des valeurs égales ou inférieures à 0,003 µg/m^3 pour une exposition continue sur une période de 70 ans.

9.2 Valeurs guides proposées pour le milieu de travail

9.2.1 Commission européenne

Une des plus récentes réévaluations de la valeur limite d'exposition professionnelle pour les composés du nickel dans l'air est celle réalisée en 2017 à la demande de la Commission européenne (CE). Bien que visant le milieu de travail, la recension des études épidémiologiques et toxicologiques ainsi que la démarche utilisée peut servir de base pour la révision de la norme de nickel dans l'air ambiant.

Plus précisément, en vue de l'élaboration des troisième et quatrième propositions de modification de la directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérogènes ou mutagènes en milieu de travail (CMD) et conformément à la Communication de la Commission intitulée «Un travail plus sûr et plus sain pour tous - Modernisation de la législation et de la politique de sécurité et de santé au travail de l'UE1 », la Commission européenne a demandé le « Risk Assessment Committee » (RAC) d'évaluer la pertinence et les bases scientifiques des limites d'expositions professionnelles pour certaines substances chimiques cancérogènes, incluant le nickel. Par conséquent, la Commission a présenté une demande le 8 mars 2017, conformément à l'article 77 du règlement REACH, afin d'évaluer cinq composés chimiques dont le nickel et ses composés. À l'appui de la demande de la Commission, l'European Chemical Agency (ECHA 2017) a préparé une proposition concernant les valeurs limites d'exposition professionnelle pour le nickel et ses composés sur le lieu de travail. Dans ce document préparé par l'ECHA pour le RAC, des valeurs guides sont proposées pour les différentes formes de nickel et se basent principalement sur le document du NiPERA (2017).

9.2.2 Valeurs guides proposées par NiPERA

Incorporé en 1980 en tant qu'organisme à but non lucratif, NiPERA Inc. a été créé pour développer et diffuser des informations sur les effets sur la santé ou l'environnement qui pourraient être associés à la production et à l'utilisation du nickel, de ses composés et de ses alliages. En 2004, NiPERA Inc. est devenue une division indépendante du Nickel Institute, une organisation internationale dédiée à tous les aspects du développement des produits de nickel.

Depuis sa création, l'Association a poursuivi ses objectifs de recherche en santé en concluant des ententes avec des particuliers, des organisations et des institutions du monde entier, indépendamment de l'industrie productrice de nickel. L'Association a collaboré avec des organismes gouvernementaux pour commanditer des projets de recherche. Les objectifs et les programmes de recherche sont élaborés en consultation avec des scientifiques indépendants et des experts en réglementation. Les études visent à déterminer les niveaux d'exposition sécuritaires pour les travailleurs du nickel, la population générale et l'environnement. Les résultats de plusieurs projets de recherche financés par NiPERA Inc. ont été publiés dans des revues avec comités de pairs.

Bien que l'association semble louable, il est important de se rappeler que cette association a été créée par les producteurs de nickel, l'acrynome NiPERA référant à « Nickel Producers Environmental Research Association ».

NiPERA (2017) se base sur la valeur limite d'exposition professionnelle (« Occupational Exposure Limit » ou OEL) dérivée par le Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL), établi en 1995 par la Commission européenne (CE), et tente d'améliorer la démarche. Comme mentionné précédemment, les valeurs proposées par NiPERA (2017) sont établies pour le milieu de travail, mais la méthode utilisée pourrait être adaptée pour établir une valeur guide pour la population générale. Le document du NiPERA détermine des valeurs pour différentes formes de nickel et pour les particules inhalables ou respirables.

9.2.2.1 Méthode de calcul du NiPERA pour déterminer une valeur guide

Afin de proposer des valeurs guides pour les particules inhalables et respirables, pour le nickel soluble (sous forme sulfate surtout), métallique, sous-sulfure et oxyde, NiPERA a sélectionné des « points de départ » (POD) en termes de concentrations d'exposition par inhalation à partir des études animales et humaines disponibles. Pour les POD établis à partir des études animales, un HEC a ensuite été calculé. Le modèle de dosimétrie de particules « Multiple-Path Particle Dosimetry » (MPPD) a été utilisé à cet effet avec les paramètres décrits dans le Tableau 9, Tableau 10 et Tableau 11.

Dans le cas où une valeur serait développée à l'aide du modèle MPPD pour la population générale, il est nécessaire de faire des ajustements pour certains paramètres comme la fréquence respiratoire, le volume courant et la durée de l'exposition. De plus, les volumes (functional residual capacity, upper respiratory tract volume) et les surfaces (surface area of respiratory tract regions) utilisés par NiPERA dans le modèle MPPD sont une moyenne pour les adultes; dans la population générale, il faut considérer également les enfants.

Tableau 9 - Paramètres physico-chimiques, physiologiques et toxicocinétiques utilisés dans le modèle MPPD utilisé par NiPERA (traduit de NiPERA 2017)

	Paramètres	Rat	Humain
Paramètres du modèle	Type modale	Voie multiple asymétrique	Modèle 5-Lobar Yeh-Schum
	Capacité résiduelle fonctionnelle	4,0 cm^3	3 300 cm^3
	Volume des voies respiratoires supérieures	0,42 cm^3	50 cm^3
	Fréquence respiratoire	102 min^{-1}	20 min^{-1}
	Volume courant	2,1 cm^3	1 024 cm^3 (10 m^3 pour 8 heures de travail)
	Fraction d'inspiration	0,5, pas de pause	0,5, pas de pause
	Type de respiration	Respiration nasale	Augmentation oronasale normale (respiration nasale pour <35,3 l/min, oronasale pour > 35,3 l/min)
	Durée d'exposition	6 h/jour	8 h/ jour
Surface des régions des voies respiratoires (cm^2)	Trachéo-bronchique	24,2	4 149
	Alvéolaire	2 422	634 620
	Thoracique (trachéo-bronchique + alvéolaire)	2 446,2	638 769
Densité des particules (g/cm^3)	Nickel métallique	8,91	8,91
	Oxyde de nickel	6,57	6,57
	Sous-sulfure de nickel	5,87	5,87
	Sulfate de nickel hexahydraté	2,07	2,07
Libération de l'ion Ni^{2+} dans le liquide pulmonaire alvéolaire (mg d'échantillon Ni/g)	Nickel métallique (teneur en 100% Ni)	2,3	2,3
	Oyxdes de nickel (77% Ni total)	0,5	0,5
	Sous-sulfure de nickel (70% Ni total)	6,7	6,7
	Sulfate de nickel hexahydraté (23% Ni total)	119	119
T1/2 de rétention (jours)	Nickel métallique	39	78
	Oxyde de nickel	116 ou 500	700 ou 5000
	Sous-sulfure de nickel	28	43
	Sulfate de nickel hexahydraté	4,2	4,5

Tableau 10 - Grosseurs des particules utilisées dans le modèle MPPD développé par NiPERA pour simuler les données animales (traduit de NiPERA 2017)

Substance	Données animales				
	Étude	Espèce	Niveau d'effet	Niveau d'exposition (mg Ni/m^3)	Taille des particules (µm)
Sulfate de nickel	(NTP, 1996c)	rat	NOAEL toxicité respiratoire	0,03	MMAD=2,5 GSD=2,38
			NOAEL tumeur respiratoire	0,11	MMAD=2,25 GSD=2,08
Sous-sulfure de nickel	(NTP, 1996b)	rat	LOAEL toxicité respiratoire	0,11	MMAD=2,17 GSD=2,34
			LOAEL tumeur respiratoire	0,11	MMAD=2,17 GSD=2,34
Oxyde de nickel	(NTP, 1996a)	rat	LOAEL toxicité respiratoire	0,5	MMAD=2,21 GSD=1,97
			LOAEL tumeur respiratoire	0,5	MMAD=2,21 GSD=1,97
Nickel métallique	(Oller et al. 2008)	rat	LOAEL toxicité respiratoire	0,1	MMAD=1,8 GSD=2,4
			LOAEL tumeur respiratoire	0,4	MMAD=1,7 GSD=2,16

Tableau 11 - Grosseurs des particules utilisées dans le modèle MPPD développé par NiPERA pour simuler les données chez les travailleurs (traduit de NiPERA 2017)

Lieu de travail	Mesures	Diamètre aérodynamique moyen (µm) et écart type géométrique (proportion % du total mesuré)	Principales substances de nickel pour lesquelles la distribution de la taille des particules en milieu de travail est pertinente
Électrolyse	1	$MMAD_1$=34,18, GSD_1= 3,39 (95%)	Sulfate de nickel, chlorure de nickel, nickel métallique
		$MMAD_2$=1,42, GSD_2= 2,89 (5%)	
	2	$MMAD_1$=50,68, GSD_1= 1,10 (68%)	
		$MMAD_2$=10,21, GSD_2= 2,27 (32%)	
Broyage	1	$MMAD_1$=19,00, GSD_1= 2,53 (94%)	Oxyde de nickel, sous-sulfure de nickel, nickel métallique
		$MMAD_2$=3,79, GSD_2= 1,10 (6%)	
	2	$MMAD_1$=50,67, GSD_1= 1,10 (68%)	
		$MMAD_2$=11,46, GSD_2= 2,38 (32%)	
Torréfaction	1	$MMAD_1$=46,40, GSD_1= 2,75 (96%)	Oxyde de nickel, sous-sulfure de nickel, nickel métallique
		$MMAD_2$=42,45, GSD_2= 17,4b (4%)	
	2	$MMAD_1$=61,22, GSD_1= 3,52 (≈100%)	
		$MMAD_2$=50,93, GSD_2= 3,01 (≈0%)	

Pour calculer la déposition journalière des particules, l'équation suivante a par ailleurs été utilisée, qui tient donc compte de la fraction de déposition déterminée par le modèle MPPD, le volume courant, la fréquence respiratoire et la durée d'exposition :

$$a = fraction\ de\ \ déposition\ \times concentration\ (mg/m^3) \times volume\ courant\ (m^3) \times durée\ de\ l'exposition(\text{minutes}) \times fréquence\ respiratoire\ (minutes^{-1})$$

Les fractions de déposition considérées dans le modèle MPPD sont celles représentées dans la Figure 1 et la Figure 2, qui varient donc en fonction de la taille des particules. Le lieu de déposition, soit les régions nasales, trachéo-bronchiques ou alvéolaires, varie également en fonction de la taille des particules. Les tailles de particules considérées dans le modèle et décrites dans le Tableau 11 proviennent de l'étude Yu et al. (2001) chez des travailleurs affectés à différentes tâches. Pour développer une valeur guide pour la population générale avec cette approche, il faudrait alors déterminer les principales tailles de particules auxquelles la population est généralement exposée, ou encore, un pire scénario d'exposition pourrait être considéré.

Figure 1 - Représentation de la déposition des particules dans les voies respiratoires déterminée par le modèle MPPD développé par NiPERA chez l'humain (tiré de NiPERA 2017)

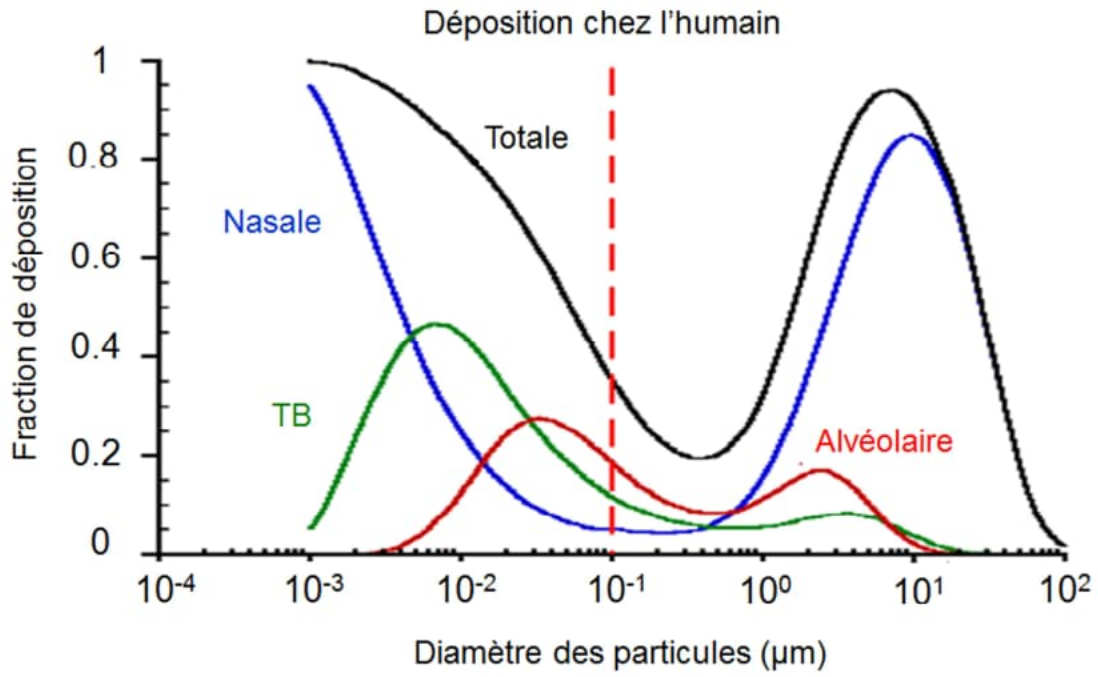
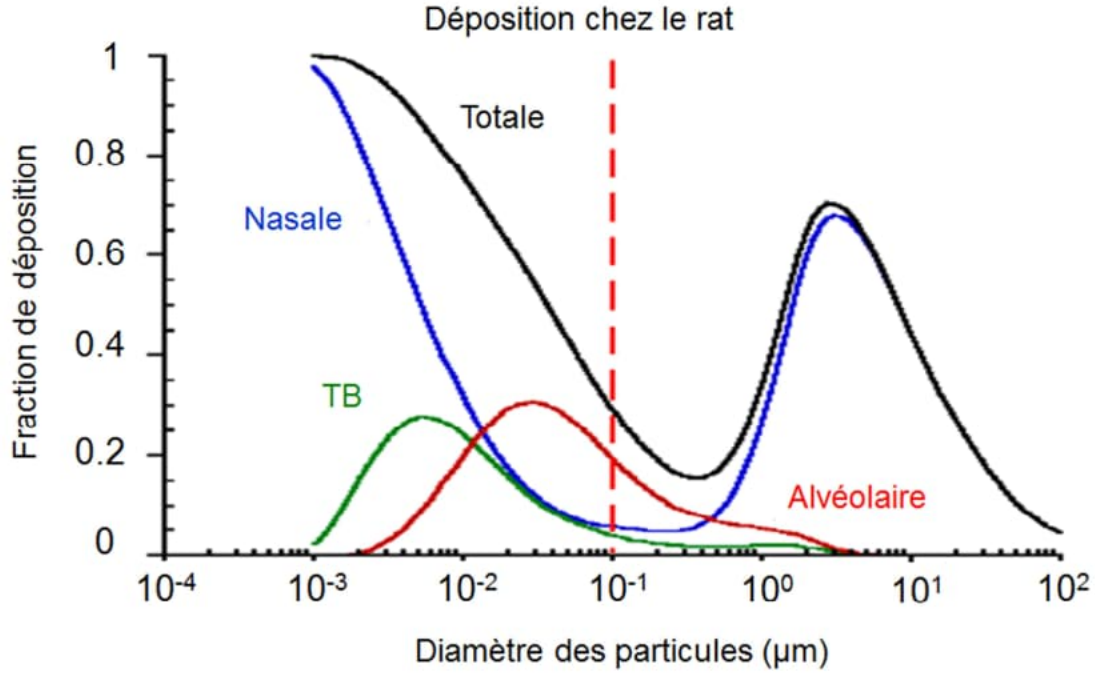


Figure 2 - Représentation de la déposition des particules dans les voies respiratoires déterminée par le modèle MPPD développé par NiPERA chez le rat (tiré de NiPERA 2017)



NiPERA a ensuite calculé la dose de nickel retenue dans les poumons en utilisant l'équation suivante:

$$A(t) = \left(\frac{a}{b}\right) \times \left(\frac{c}{t}\right) \times (1 - e^{-b \times t})$$

Où,
A(t) = charge pulmonaire accumulée ou retenue (dose) au moment de l'observation: 40 ans ou 14 600 jours pour les humains et 24 mois ou 730 jours pour les rats;
a = quantité déposée quotidienne calculée en utilisant le modèle MPPD et les paramètres du rat ou de l'homme présentés, avec correction par surface alvéolaire ou thoracique;
b = taux de clairance = ln2 / rétention T1/2 (de rats ou d'humains) : la rétention T1/2 diffère pour chaque forme chimique majeure du nickel;
c = période d'exposition: les humains sont exposés pendant 5 jours/semaine, 48 semaines/année, pendant 40 ans (c = 9 600 jours); les rats sont exposés pendant 5 jours/semaine, 52 semaines/année, pendant 2 ans (c = 520 jours);
t = période d'observation: t = 14 600 jours (40 ans) pour les humains et t = 730 jours (2 ans) pour les rats.

Cette équation est une approximation de la dose accumulée sur des périodes prédéfinies (soit 40 ans chez les travailleurs et 24 mois chez le rat) après expositions chroniques répétées selon un horaire typique de travail pendant toute une carrière (5 jours par semaine, 48 semaines par

année, pendant 40 ans chez les travailleurs et 5 jours par semaine, 52 semaines par année pendant toute la durée de vie du rat qui est normalement de 2 ans). Par contre, l'équation décrite ne tient pas compte d'un arrêt de travail, pendant lequel la dose devrait diminuer.

Nous avons donc fait l'exercice de vérifier cette équation en considérant une dose d'exposition journalière continue administrée selon le même schéma qu'utilisé par NiPERA, c'est-à-dire pour une période de travail de 5 jours/semaine, 48 semaines par année pendant 40 ans. Un modèle à un compartiment a été utilisé pour représenter le poumon. Une constante d'élimination a été appliquée à ce compartiment. L'équation que nous avons utilisée décrit une courbe de la quantité dans le poumon en fonction du temps similaire à celle de NiPERA, mais avec une descente lors d'un arrêt de l'exposition (ce qui est impossible avec l'équation utilisée par NiPERA). En utilisant un modèle à un compartiment, on s'aperçoit que le temps pour atteindre le maximum de concentration dépend principalement du temps de rétention de la particule dans le poumon. Plus ce temps est court, plus vite le maximum sera atteint. En utilisant cette méthode, le maximum de la quantité atteinte dans les poumons que nous avons obtenu est similaire à celui dérivé avec l'équation utilisée par NiPERA.

Une fois la dose retenue déterminée chez l'animal et chez l'humain (avec les paramètres appropriés), le ratio de dose entre l'animal et l'humain est calculé et le HEC est obtenu en multipliant ce ratio par la concentration d'exposition animale. Les facteurs d'incertitudes pour l'extrapolation de l'animal à l'humain (FI_A) et pour tenir compte de la variabilité interindividuelle et les individus plus sensibles (FI_H) peuvent être ensuite appliqués. Les valeurs de HEC déterminées pour les différentes formes de nickel, la forme soluble de sulfate de nickel, la forme insoluble de sous-sulfure de nickel et d'oxyde de nickel ainsi que la forme métallique, sont résumées dans le Tableau 12 et Tableau 13.

Tableau 12 – Valeurs de HEC pour les particules respirables de sulfate de nickel, sous-sulfure de nickel, oxyde de nickel et nickel métallique, telles que calculées par NiPERA à l'aide du modèle MPPD (tiré de NiPERA 2017)

Substance	**Données animales**				**Données humaines**	HEC inhalable basé sur la dose retenue à long terme (mg Ni/m^3)
	Étude/espèces	Taille des particules (µm)	Niveau d'exposition (mg Ni/m^3)	Niveau d'effet	Taille des particules (µm)[a]	
Sulfate de nickel	(NTP, 1996c)/rat	MMAD=2,5 GSD=2,38	0,03	NOAEL	Électrolyse	0,03
Sous-sulfure de nickel	(NTP, 1996b)/rat	MMAD=2,17 GSD=2,34	0,04	NOAEL calculé	Broyage Torréfaction	0,03
Oxyde de nickel	(NTP, 1996a)/rat	MMAD=2,21 GSD=1,97	0,17	NOAEL calculé	Broyage Torréfaction	0,03
Nickel métallique	Oller et al. (2008)/rat	MMAD=1,8 GSD=2,4	0,03	NOAEL calculé	Électrolyse Broyage Torréfaction	0,02

[a] voir le tableau 11

Tableau 13 – Valeurs de HEC pour les particules inhalables de sulfate de nickel, sous-sulfure de nickel, oxyde de nickel et nickel métalliques, telles que calculées par NiPERA à l'aide du modèle MPPD (tiré de NiPERA 2017)

Substance	Données animales				Données humaines	HEC inhalable basé sur la dose retenue à long terme (mg Ni/m^3)
	Étude/espèces	Taille des particules (µm)	Niveau d'exposition (mg Ni/m^3)	Niveau d'effet	Taille des particules (µm)[a]	
Sulfate de nickel	(NTP, 1996c)/rat	MMAD=2,5 GSD=2,38	0,03	NOAEL	Électrolyse	0,19
Sous-sulfure de nickel	(NTP, 1996b)/rat	MMAD=2,17 GSD=2,34	0,04	NOAEL calculé	Broyage Torréfaction	0,18
Oxyde de nickel	(NTP, 1996a)/rat	MMAD=2,21 GSD=1,97	0,17	NOAEL calculé	Broyage Torréfaction	0,19
Nickel métallique	Oller et al. (2008)/rat	MMAD=1,8 GSD=2,4	0,03	NOAEL calculé	Électrolyse Broyage Torréfaction	0,12

[a] voir le tableau 11

9.2.2.2 Études utilisées par NiPERA pour l'établissement des POD

NiPERA (2017) a utilisé les études de cancérogénicité du NTP (1996a,b,c) pour l'établissement de la concentration critique servant de point de départ (POD) pour la dérivation d'une valeur guide de particules de nickel respirables, ainsi que des données décrites dans Oller et al. (2008). Les études du NTP (1996a, b, c) sont décrites dans la section sur la revue de la littérature. Pour le sulfate de nickel, le NOAEL de 0,03 mg Ni/m^3 établi dans l'étude du NTP (1996c) à partir des données chez des rats exposés par inhalation 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant deux ans, a été utilisé comme POD. Les effets critiques étaient l'inflammation chronique, l'hyperplasie des macrophages, la protéinose alvéolaire et fibrose. Pour l'oxyde de nickel, le LOAEL de 0,5 mg Ni/m^3 établi dans l'étude du NTP (1996a), dans les mêmes conditions d'exposition, a été utilisé comme POD. Les effets critiques étaient l'inflammation chronique active, la pigmentation des alvéoles, l'hyperplasie, la pigmentation des bronches. Pour le sous-sulfure de nickel, le LOAEL de 0,11 mg Ni/m^3 établi dans l'étude du NTP (1996b), encore une fois dans les mêmes conditions d'exposition, a été utilisé comme POD. Les effets critiques étaient la fibrose, l'inflammation chronique active, l'hyperplasie, la protéinose et l'accumulation de macrophages dans les alvéoles, l'hyperplasie et lymphoïde dans les bronches, l'infiltration cellulaire dans l'interstice. Pour le nickel métallique, NiPERA (2017) ont par ailleurs utilisé l'étude chronique de Oller et al. (2008) chez des rats exposés au nickel métallique à des concentrations de 0, 0,1, 0,4 et 1,0 mg Ni/m^3, 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant deux ans (103 semaines). Le LOAEL de l'étude était de 0,1 mg Ni/m^3 et était basé sur les effets multiples observés (protéinose alvéolaire, histiocytose alvéolaire, inflammation chronique et hyperplasie bronchiolo-alvéolaire).

À partir des LOAEL de l'oxyde de nickel, du sous-sulfure de nickel et du nickel métallique, un NOAEL a été estimé en appliquant un facteur d'incertitude pour l'extrapolation LOAEL-NOAEL (FI_L) de 3 (correspond à une valeur se rapprochant √10 utilisé lorsqu'un BMDL corrigé pour la différence entre l'animal et l'humain dans la déposition des particules dans les voies respiratoires (DAF) est utilisé au lieu d'un NOAEL). NiPERA (2017) mentionne qu'un facteur de 3 est jugé raisonnable selon la relation dose-réponse pour les effets respiratoires observés dans les études de toxicité par inhalation chez les rongeurs exposés aux composés de nickel.

Pour la dérivation d'une valeur guide pour les particules inhalables, les mêmes études que celles utilisées pour déterminer une valeur guide pour les particules respirables ont été utilisées.

9.2.2.3 Demie-vie de rétention utilisée par NiPERA dans leur calcul de la dose retenue dans les poumons

Les calculs de HEC faits par le NiPERA (2017) prennent en compte aussi l'effet possible associé à une plus lente clairance mécanique des particules ayant atteint les poumons chez l'humain comparativement au rat. Pour les particules peu solubles pouvant atteindre la région alvéolaire des poumons, l'élimination peut se faire soit par dissolution, soit de façon mécanique suite à une phagocytose par les macrophages alvéolaires. Pour les particules peu solubles, la dissolution ne devrait pas jouer un rôle majeur dans l'élimination, mais la différence dans les taux de clairance mécanique entre les rats et les humains s'est révélée significative (Bellmann et al., 1991; Bailey et al., 1985; Gregoratto et al., 2010; Pauluhn, 2010; Snipes, 1989). Le taux de clairance totale des particules de la région alvéolaire du poumon est régi par l'équation suivante: ln2/(t1/2 de rétention totale) = ln2/(t1/2 de rétention associée à la dissolution) + ln2/(t1/2 de rétention associée au processus mécanique).

Les demi-vies de rétention (t1/2) dérivées par NiPERA pour chacun des principaux composés de nickel sont basées sur les résultats des études ayant servi à établir un POD, soit les études du NTP (1996a, b, c) pour le sulfate de nickel, le sous-sulfure de nickel et l'oxyde de nickel ainsi que l'étude de Oller et al. (1997) pour le nickel métallique. Pour le sulfate de nickel, NiPERA mentionne qu'une estimation prudente de la t1/2 de rétention totale chez des rats exposés de façon répétée pendant 15 mois a été calculée en utilisant: i) la dose quotidienne prévue dans la région alvéolaire du poumon (µg/poumon) pour une concentration d'exposition équivalente au NOAEL de 0,03 mg Ni/m^3, telle que calculée en utilisant le modèle MPPD; ii) la dose pulmonaire retenue telle qu'estimée par les données de charges pulmonaires mesurées après 15 mois d'exposition (0,374 µg Ni/poumon chez les mâles et 0,257 µg Ni/poumon chez les femelles (NTP 1996c); iii) l'équation de dose retenue dans les poumons ($A(t) = (a/b) \times (c/t) \times (1- e^{-b \times t})$). La t1/2 de rétention totale du sulfate de nickel dans les poumons dans l'étude chronique du NTP (1996c) chez les rats a été calculée à environ 4,2 jours. NiPERA mentionne que, bien qu'il soit possible de supposer que la clairance des particules de sulfate de nickel se produira principalement par dissolution sur la base de leur solubilité élevée (comme décrit par Oller et al. 1997), il a été considéré que la clairance mécanique des particules non dissoutes se poursuivrait avec une t1/2 de rétention de 70 jours. La t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution a été calculée à 4,5 jours chez le rat, confirmant que la plus grande partie de la clairance se produira effectivement par dissolution et compatible avec la libération élevée de Ni^{2+} dans les liquides pulmonaires suite à l'exposition au sulfate de nickel. Le taux de clairance totale du sulfate de nickel chez l'humain a ensuite été calculé en considérant que la t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution sera la même chez l'humain que chez le rat (soit de 4,5 jours) et que la t1/2 de rétention mécanique pourrait être 10 fois plus

élevée chez l'homme que chez les rats. En utilisant une valeur très conservatrice pour cette dernière de 700 jours chez l'humain, la t1/2 de rétention totale chez l'humain peut être calculée à 4,5 jours.

Pour le sous-sulfure de nickel, une estimation prudente de la t1/2 de rétention totale chez des rats exposés 15 mois a été calculée en utilisant: i) la dose quotidienne déposée dans la région alvéolaire du poumon (µg/poumon) pour une concentration d'exposition correspondant au LOAEL de 0,11 mg de Ni/m^3, telle que calculée en utilisant le modèle MPPD; ii) la dose pulmonaire retenue telle qu'estimée par les données de charges pulmonaires mesurées après 15 mois d'exposition (14 µg Ni/poumon chez les mâles et 9 µg Ni/poumon chez les femelles (NTP, 1996b); iii) l'équation de dose retenue dans les poumons. La t1/2 de rétention totale dans les poumons dans l'étude chronique du NTP (1996b) chez les rats a été calculée à environ 28 jours. La t1/2 de rétention mécanique des particules non dissoutes a été estimée à 70 jours chez le rat. La t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution a été calculée à 46 jours chez le rat. Compatible avec l'étude d'Oller et al. (1997), la t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution, et donc par formation de Ni^{2+}, est plus longue pour le sous-sulfure de nickel comparativement au sulfate de nickel. Comme pour le sulfate de nickel, le taux de clairance totale du sous-sulfure de nickel chez l'humain a ensuite été calculé en considérant que la t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution sera la même chez l'humain que chez le rat (soit de 46 jours) et que la t1/2 de rétention mécanique pourrait être 10 fois plus élevée chez l'homme que chez les rats, soit 700 jours. La t1/2 de rétention totale du sous-sulfure de nickel chez l'humain a ainsi été calculée à 43 jours.

Pour le nickel métallique, la t1/2 de rétention totale chez des rats exposés de façon répétée pendant 15 mois a été calculée en utilisant: i) la dose quotidienne déposée dans la région alvéolaire du poumon (µg/poumon) pour des rats exposés au LOAEL de 0,1 mg Ni/m^3; ii) la dose pulmonaire retenue telle qu'estimée par les données de charges pulmonaires mesurées après 12 mois d'exposition (12 µg Ni/poumon chez les mâles et 14 µg Ni/poumon chez les femelles Wistar selon Oller et al. (2008); iii) l'équation de dose retenue dans les poumons. La t1/2 de rétention totale du nickel métallique dans l'étude chez le rat a été calculée à environ 39 jours. Une t1/2 de rétention mécanique chez les rats de 70 jours a été considérée et une t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution de 88 jours. Pour le nickel métallique, la rétention plus longue pour la composante éliminée par dissolution par rapport au sulfate de nickel et au sous-sulfure de nickel est compatible avec la libération plus lente d'ion Ni^{2+} dans les liquides pulmonaires. Le taux de clairance totale du nickel métallique chez l'humain a ensuite été calculé en considérant que la t1/2 de rétention pour la composante éliminée par dissolution sera la même chez l'humain que chez le rat (soit de 88 jours) et que la t1/2 de rétention mécanique pourrait être 10 fois plus élevée chez l'homme que chez les rats, soit 700 jours. La t1/2 de rétention totale du nickel métallique chez l'humain a ainsi été calculée à 78 jours.

Pour l'oxyde de nickel, toujours selon NiPERA (2017), à des niveaux d'exposition correspondant au LOAEL de 0,5 mg Ni/m^3, la t1/2 de rétention totale estimée à partir des études de clairance chez le rat exposé de façon répétée varie de 116 jours (Benson et al., 1995; rats, exposition de 6 mois, MMAD ~ 2 µm) à 500 jours (Tanaka et al., 1985, 1986; rats Wistar, jusqu'à 12 mois d'exposition, MMAD ~ 2 µm). En utilisant le modèle MPPD et une t1/2 de rétention totale de 500 jours, la dose retenue chez les rats exposés à l'oxyde de nickel pendant 15 mois a été estimée à ~ 400 µg/poumon. Cette valeur se (bien que plus faible) rapproche des données sur les charges pulmonaires de nickel rapportées dans les études NTP (1996a) chez des rats Fischer 344 (470 µg de Ni/poumon chez les femelles et 700 µg Ni/poumon chez les mâles). En utilisant l'une de ces deux estimations de t1/2 de rétention totale (116 et 500 jours) pour les particules d'oxyde de nickel chez le rat et un t1/2 de rétention

mécanique de 70 jours, une clairance négligeable (~ zéro) par dissolution a été calculée par NiPERA. Cela correspond à la très faible libération d'ion Ni^{2+} par l'oxyde de nickel dans les liquides pulmonaires, compatible avec ce qui a été rapporté par Oller et al. (1997).

Toutefois, il semble que NiPERA (2017) sous-estime le temps de rétention des particules d'oxyde de nickel. En effet, en utilisant le modèle MPPD et une t1/2 de rétention totale de 500 jours, NiPERA n'arrive pas aux quantités pulmonaires de nickel retrouvées dans l'étude du NTP (1996a). Néanmoins, ils utilisent tout de même deux valeurs de 116 et 500 jours pour le rat avec la valeur du LOAEL.

9.2.2.4 Valeurs guides proposées par NiPERA et décrites comme étant des « Derived No-effect levels » (DNEL)

NiPERA (2017) a effectué plusieurs calculs pour proposer différentes concentrations de référence dans l'air pour le milieu du travail décrites comme étant des « Derived No-effect levels » (DNEL). Ces calculs sont basés sur les données animales mais également sur les données humaines. Des DNEL sont dérivés pour différentes formes de nickel, soit les quatre formes principales, inhalables et respirables.

Le Tableau 14 résume les DNEL pour les particules inhalables et respirables dérivés par NiPERA à partir d'études animales, selon le calcul décrit précédemment. Ces valeurs pour le sulfate de nickel, sous-sulfure de nickel et oxyde de nickel sont toutes de 0,01 mg/m^3 pour les particules respirables et varient de 0,06 à 0,19 mg/m^3 pour les particules inhalables. L'élément ajouté ici est le facteur d'incertitude total appliqué entre la valeur du HEC et la valeur du DNEL. Il est possible de constater que le facteur appliqué pour la variabilité interindividuelle (FI_H) chez les travailleurs est de 3, contrairement à la valeur par défaut appliquée par les organismes gouvernementaux qui est normalement de 10 pour la population générale (même que l'OEHHA utilise une valeur par 30 pour la population générale pour tenir compte de la sensibilité plus importante des nouveaux-nés et enfants). NiPERA mentionne que, pour les travailleurs, l'ECHA recommande d'utiliser un facteur FI_H par défaut de 5, étant donné que cette sous-population ne couvre pas les très jeunes, les très âgés et les malades. NiPERA indique aussi qu'un groupe de travail, ECETOC (2010), a tenté d'évaluer la variabilité interindividuelle au sein de la population à partir de l'analyse des données et d'en tirer des informations plus détaillées. Les distributions de divers paramètres toxicocinétiques et toxicodynamiques disponibles à partir de données chez l'adulte sain des deux sexes ont été examinées, ainsi que certaines données chez les jeunes et les personnes âgées, de différentes ethnies et des patients atteints de diverses pathologies telles que le cancer et l'hypertension (Hattis. al., 1987, 1999, Hattis et Silver, 1994, Renwick et Lazarus, 1998). L'analyse de l'ensemble de ces données par ECETOC (2010) a abouti à estimer une valeur numérique qui représente la variabilité interindividuelle totale (FI_H) pour les paramètres toxicocinétiques et toxicodynamiques. Pour les effets systémiques, une valeur de FI_H de 5 pour la population générale est recommandée suite aux travaux de ECETOC (2003, 2010). Pour la population de travailleurs plus homogène, où les pratiques d'hygiène normales et la gestion des risques sont en place, un facteur FI_H de 3 a été recommandé. Selon ECETOC (2003, 2010), cette valeur de 3 pour les travailleurs est soutenue par les analyses de Hattis et Silver (1994) de la variabilité dans les réponses toxicodynamiques pour les effets locaux (effets cutanés, irritation des yeux et un certain nombre d'effets respiratoires tels que la fonction pulmonaire et l'inconfort pulmonaire) (Hattis et al., 1987, 1999; Renwick et Lazarus, 1998; ECETOC 2010).

Tableau 14 - Valeurs guides pour le nickel respirable et inhalable proposées par NiPERA (« Derived No-effect levels » (DNEL)) à partir d'études animales sur la toxicité respiratoire (tiré de NiPERA 2017)

Substance		Conditions d'exposition et niveau d'effet			DNELs	
	Étude/espèces	Taille des particules (µm)	Niveau d'exposition (mg Ni/m^3)	Niveau d'effet	Respirables (mg Ni/m^3)	Inhalables (mg Ni/m^3)
Sulfate de nickel	(NTP, 1996c)/rat	MMAD=2,5 GSD=2,38	0,03	NOAEL	0,01	0,06-0,09
Sous-sulfure de nickel	(NTP, 1996b)/rat	MMAD=2,17 GSD=2,34	0,04	NOAEL calculé	0,01	0,06-0,18
Oxyde de nickel	(NTP, 1996a)/rat	MMAD=2,21 GSD=1,97	0,17	NOAEL calculé	0,01	0,06-0,19

NiPERA (2017) a aussi calculé une valeur de DNEL pour les particules de nickel inhalables, à partir des données humaines pour le nickel soluble (incluant le sulfate de nickel, le nickel sulfidique (incluant le sous-sulfure de nickel) et les oxydes de nickel. Les études humaines utilisées par NiPERA pour dériver une DNEL sont essentiellement des études de cancérogénicité. Pour le nickel soluble et sous forme oxyde, les données (mesurées ou estimées) sur les expositions et les rapports de risque présentées par Goodman et al. (2011) ont été utilisées. Dans cette analyse, les expositions au nickel sont exprimées en termes de fraction d'aérosol inhalable (c.-à-d., les estimés d'exposition rapportés par Goodman et al. (2011) ont été corrigés par un facteur multiplicatif de 2). Au total, des données sur le cancer du poumon provenant de 22 zones de traitement provenant de 13 cohortes d'usines de production et d'utilisation de nickel ont été incluses, englobant plus de 100 000 travailleurs. Des informations sur la durée d'exposition de ces travailleurs sont nécessaires pour dériver un DNEL, mais souvent elles n'étaient pas disponibles. Pour trois des 13 cohortes, qui représentent ensemble plus de 50% des travailleurs, la durée d'exposition a été calculée à 12 ans en moyenne. Compte tenu de la cohérence entre ces trois cohortes, une durée moyenne d'exposition de 12 ans a été jugée raisonnablement appropriée pour tous les travailleurs.

Les relations dose-réponse pour les ratios de risque de cancer du poumon (SMR et SIR) en fonction du logarithme de l'exposition aux particules inhalables (mg Ni/m^3) sous formes de nickel hydrosoluble ou oxyde ont été calculées. Les chiffres sont basés sur des données présentées dans Goodman et al. (2011), avec correction pour l'exposition à la fraction inhalable.

Pour cette estimation, NiPERA (2017) s'appuie sur l'évaluation du SCOEL. Selon le SCOEL (2011), une augmentation significative dans l'incidence de cancer du poumon a été observée chez les travailleurs d'une raffinerie de nickel pour une exposition cumulative aux particules solubles de nickel de 1,6 mg Ni/m^3, équivalente à 0,04 mg Ni/m^3, lorsque calculé sur une période d'exposition de 40 ans (Grimsrud et al., 2002) (bien que la durée moyenne d'exposition de ces travailleurs soit de 13 ans, ce qui signifiait que les expositions associées aux cas de cancer du poumon observés étaient plus proches de 0,12 mg Ni/m^3). La valeur du SCOEL de 0,04 mg Ni/m^3 correspond à une exposition à la fraction inhalable de 0,08 mg Ni/m^3 (nickel soluble), lorsque des corrections pour l'efficacité de l'échantillonneur sont appliquées. Le SCOEL a ensuite divisé par quatre la valeur de 0,04 mg Ni/m^3 obtenue en considérant un échantillonneur de 37 mm ou de 0,08 mg Ni/m^3 en considérant un échantillonneur inhalable

pour obtenir une valeur limite d'exposition professionnelle (« Occupational Exposure Limit ») finale de 0,01 mg Ni/m^3 (ou 0,02 mg Ni/m^3 en fraction inhalable) basée sur le nickel soluble mais appliqué à l'exposition totale au nickel. Le SCOEL a reconnu que cette valeur était « conservatrice » considérant la dose-réponse supralinéaire inhabituelle pour le cancer du poumon et l'exposition au nickel soluble rapportée dans l'étude de Grimsrud et al. (2002), ainsi que le fait que la valeur pour le nickel soluble (en présence d'autres composés du nickel) a été utilisée pour établir une valeur pour le nickel total.

Dans la dérivation d'un DNEL, NiPERA (2017) est parti d'une valeur similaire en nickel soluble inhalable (0,1 mg Ni/m^3 au lieu de 0,08 mg Ni/m^3). Cette valeur s'appuierait sur une nouvelle analyse des données (Goodman et al., 2011). NiPERA a appliqué un facteur d'incertitude de 2 pour en arriver à une valeur de DNEL de 0,05 mg Ni/m^3. NiPERA justifie le facteur d'incertitude appliqué par le fait que le nombre de travailleurs considérés dans les cohortes combinées est grand (> 100 000 travailleurs) et que la valeur d'exposition aux particules solubles a été appliquée comme DNEL pour l'exposition au nickel total.

10. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

10.1. Conclusions sur les mécanismes toxicologiques principaux

La revue de la littérature effectuée dans le présent travail a permis de compiler de l'information sur les mécanismes d'action des différentes formes de nickel. La toxicité pulmonaire, en particulier l'inflammation pulmonaire, a été décrite comme effet critique pour les différentes formes de nickel. Toutefois, différentes études, dont celles du NTP (1996a, b, c), ont montré que l'intensité des effets pulmonaires chroniques non cancérogènes dépend de la forme de nickel. Selon ces études, la toxicité pulmonaire du sous-sulfure de nickel, relativement insoluble dans l'eau, est supérieure à celle de l'oxyde de nickel insoluble et plus proche de celle du sulfate de nickel soluble.

Les études du NTP (1996a, b, c), appuyées par d'autres études, ont aussi montré une différence dans le potentiel cancérogène des trois formes de nickel évaluées et une différence de susceptibilité entre les espèces (le rat étant plus susceptible que la souris). Dans l'étude du NTP (1996c), le sulfate de nickel hexahydraté ($NiSO_4.6H_2O$) n'a montré aucune évidence d'activité cancérogène chez les deux espèces. A contrario, le sous-sulfure de nickel et l'oxyde de nickel ont montré une cancérogénicité (NTP 1996a, b). Le sous-sulfure de nickel a montré une augmentation dose-dépendante de l'activité cancérogène tant chez les rats mâles que femelles, mais aucune évidence d'activité cancérogène n'a été observée chez la souris. L'oxyde de nickel (vert) a montré une certaine évidence de cancérogénicité chez le rat; aucune augmentation significative de tumeurs n'a été observée chez les souris mâles par rapport aux contrôles mais une évidence équivoque de cancérogénicité a été notée chez les souris femelles.

Bien que les mécanismes qui expliquent la toxicité pulmonaire et la cancérogénicité ne soient pas complètement élucidés, il y a une évidence croissante que l'inflammation chronique promeut la transformation néoplasique (formation de tumeurs). Il a été documenté que les composés du nickel peuvent être éliminés du poumon soit par simple dissolution, pouvant générer des ions Ni^{2+}, soit par phagocytose par les macrophages alvéolaires (Oller et al. 1997). La présence de macrophages activés (contenant des formes du nickel) ou d'ions Ni^{2+} générés par la dissolution peut induire une réponse inflammatoire. Une cascade de réponse peut s'ensuivre : relargage de facteurs de croissance, de cytokines, de protéases et d'oxydants pouvant augmenter la prolifération cellulaire, incluant les cellules qui peuvent avoir subi un dommage génétique.

Étant donné les différences de solubilité des diverses formes de nickel dans les matrices biologiques, la rétention et le mécanisme d'élimination principal dans les voies respiratoires, et en particulier dans les poumons, sont dépendants du composé. Selon Oller et al. (1997), les formes de sous-sulfure de nickel, qui ont une solubilité relativement élevée dans les fluides biologiques, peuvent subir une phagocytose par les macrophages et également générer des ions Ni^{2+}; elles ont ainsi une plus grande capacité à générer des évènements génotoxiques et épigénétiques que les autres formes. Les formes oxydes de nickel, moins solubles dans les fluides biologiques, sont donc moins efficaces à générer des ions Ni^{2+}, de sorte que leur clairance dépendra largement de l'action des macrophages; les tumeurs générées seraient ainsi plutôt associées à une réponse inflammatoire et proliférative médiée par l'activation chronique des macrophages, plutôt qu'un effet associé à la formation d'ions Ni^{2+}. Le sulfate de

nickel est pour sa part soluble dans les fluides biologiques et peut libérer facilement des ions Ni^{2+}, menant à de l'inflammation et à de la toxicité cellulaire. Toutefois, Oller et al. (1997) ont indiqué que le Ni^{2+} provenant du sulfate de nickel et ayant subi une translocation dans le cytoplasme cellulaire est réactif et se lie facilement aux composants cytoplasmiques, ce qui limite son transfert vers le noyau cellulaire et donc sa capacité à induire des dommages génétiques. Un des aspects encore peu connu est l'impact de la taille des particules sur la formation d'ions Ni^{+2} et donc la possibilité que des plus petites particules conduisent à une augmentation du relargage de Ni^{2+} et donc de la biodisponibilité du Ni^{2+} aux sites nucléaires.

10.2. Synthèse des normes et valeurs guides du nickel dans l'air ambiant établies par différentes juridictions

L'analyse des normes et des valeurs guides dans l'air ambiant établies par différents organismes dans différents pays ou différentes juridictions (Tableau 15) a montré que la norme actuelle du nickel et ses composés dans l'air ambiant au **Québec de 0,014 µg/m^3 (14 ng/m^3) pour une période de 24 heures est plus sévère** que les normes ou valeurs guides recommandées par la plupart des autres organismes et pays, à l'exception du « Reference Exposure Level » (REL) chronique établi par l'OEHHA (2012) du gouvernement californien, qui est également de 0,014 µg/m^3 en moyenne annuelle, et de la valeur guide du Département de l'ouest de l'Australie qui est de 0,003 µg/m^3.

La norme actuelle du Québec est par ailleurs basée sur une étude d'immunotoxicité aiguë chez la souris (Graham et al. 1978) alors que **la plupart des organismes ont sélectionné** comme base les études de toxicité chronique (incluant la cancérogénicité) réalisées par le **National Toxicology Program (NTP, 1996a, b, c)** pour l'établissement d'une valeur limite ou guide dans l'air ambiant. Le NTP est un organisme reconnu mondialement pour des études sur la toxicité chronique et la cancérogénicité, menées selon les recommandations de l'OCDE 452 (« guidelines ») érigées par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, en anglais « Organisation for Economic Co-operation and Development » ou OECD) (OCDE 2018).

Les valeurs limites ou guides disponibles s'appliquent la plupart du temps au **nickel et ses composés, et donc au nickel total**, sauf dans le cas de la Californie où l'OEHHA (2012) a établi un REL chronique pour le nickel et ses composés autres que l'oxyde de nickel, d'une part, et pour l'oxyde de nickel seulement, d'autre part.

Elles concernent toutes la mesure des concentrations dans les **PM10** et **donc des particules respirables** (celles pouvant atteindre le poumon profond). L'Ontario a par contre en plus dérivé un « Ambient Air Quality Criteria » (AAQC) pour les matières particulaires totales en suspension (TSPM), et donc les particules inhalables pouvant se déposer dans le nez et la bouche, sur la base des mêmes études et de la même approche que celles utilisées pour dériver un AAQC dans la fraction particulaire PM10.

Par ailleurs, la plupart des pays se basent sur une valeur **moyenne annuelle** de nickel et ses composés. Pour les pays de l'Europe comme la **France**, et pour la **Norvège,** ils utilisent la valeur limite **moyenne annuelle** proposée par l'Union européenne de 0,020 µg/m^3 ou 20 ng/m^3 (CSTEE 2001). L'**Ontario** a aussi retenu la valeur limite de l'Union européenne comme AAQC en **moyenne annuelle**. Néanmoins, en plus d'un **REL chronique** exprimé en **moyenne annuelle**, l'OEHHA du gouvernement californien a proposé une valeur pour une exposition de **1**

heure (aREL) et 8 heures (REL 8 h). Le **Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)** s'est d'ailleurs appuyé sur la valeur et la démarche proposée pour dériver le aREL de l'OEHHA pour une exposition 1 heure afin d'établir la norme actuelle sur une période de **24 heures**. Outre le MELCC, l'**Ontario** a proposé une valeur sur **24 heures en plus** d'une valeur moyenne annuelle, qui correspond à leur **moyenne annuelle à laquelle un facteur de conversion de 5 a été appliqué**.

L'Australie n'a pas de valeur pour l'air ambiant établie au niveau national, mais certains départements ont leur propre valeur guide. Notamment, l'Australie de l'Ouest se base sur la valeur moyenne annuelle de 3 ng/m^3 à éviter de dépasser, dérivée du risque de cancer calculé par l'OMS (2000) à partir des données de cancer du poumon chez les travailleurs de raffinerie de l'époque (concentration de 2,5 ng/m^3 associée à une chance sur 1 000 000 de développer un cancer du poumon).

Mise à part cette dernière valeur moyenne annuelle pour l'Australie de l'Ouest, tel que mentionné précédemment, les **études de référence pour dériver une valeur limite ou guide** dans l'air ambiant**, en moyenne annuelle,** sont celles du **NTP (1996a, b, c)**. En particulier, c'est l'étude de toxicité chronique sur le **sulfate de nickel du NTP (1996c)**, chez des rats et des souris exposés par inhalation, qui a été **retenue par l'OEHHA du gouvernement californien, l'Union européenne et donc indirectement la France, la Norvège et l'Ontario** pour l'établissement d'une valeur de référence dans l'air **pour le nickel et ses composés** (autres que l'oxyde de nickel dans le cas de OEHHA (2012)). L'OEHHA a par ailleurs retenu l'étude du NTP (1996a) sur l'oxyde de nickel pour dériver son REL chronique pour ce composé. Ces études du NTP ont été réalisées chez deux espèces, des deux sexes et, comme mentionné précédemment, le protocole suit les recommandations de l'OCDE 452.

Les évaluations de l'OEHHA et de l'Union européenne pour la toxicité chronique se basent sur les effets non cancérogènes du nickel observés dans les études du NTP et en particulier sur la toxicité pulmonaire (inflammation active chronique, bronchiolisation, hyperplasie des macrophages pulmonaires). Ces organismes ainsi que plusieurs juridictions indiquent par contre que les valeurs moyennes annuelles établies sur la base de la toxicité chronique devraient également protéger contre les effets cancérogènes. En outre, l'Union européenne et l'Ontario soulignent qu'une valeur limite basée sur la toxicité pulmonaire du sulfate de nickel devrait également être protecteur des effets pulmonaires associés aux autres formes de nickel. L'OEHHA (2012) mentionne quant à lui qu'une concentration de référence dérivée à partir de l'étude chronique du NTP sur le sulfate de nickel peut être utilisée pour tous les composés de nickel autres que les oxydes de nickel. Une valeur guide séparée a été dérivée par l'OEHHA pour prévenir la toxicité chronique de l'oxyde de nickel; toutefois, cette valeur est plus élevée que celle dérivée par cet organisme pour le nickel et ses composés autres que les oxydes de nickel. Ceci indique qu'une valeur limite basée sur les données de toxicité pulmonaire du sulfate de nickel serait appropriée pour prévenir les effets pulmonaires de tous les composés du nickel. L'utilisation des données de toxicité pulmonaire du sulfate de nickel est également soutenue par certains organismes (comme l'Ontario et l'Union européenne) par le fait que le sulfate de nickel représente une majeure partie des formes de nickel total dans l'air ambiant. Plus précisément, d'une part, en Ontario, les résultats de la spéciation des particules dans l'air ambiant indiquent que les deux formes principales retrouvées sont le sulfate de nickel et l'oxyde de nickel. D'autre part, au niveau de l'Union européenne et de son comité CSTEE (2001), il est indiqué que de nombreuses mesures de spéciation du nickel dans l'air ambiant effectuées en Allemagne sur plusieurs sites montrent que le nickel soluble représente approximativement 50% de la composition totale des espèces de nickel dans l'air ambiant en milieu urbain (Feuchtjohann et al., 2000).

L'OEHHA (2012) a également retenu l'étude du NTP (1996c) pour l'établissement d'un REL 8 heures, mais en utilisant la toxicité pulmonaire observée à 13 semaines pendant l'étude chronique de deux ans. Pour l'établissement d'un aREL pour une période de 1 heure, l'OEHHA a par contre utilisé l'étude d'immunotoxicité de Graham et al. (1978), considérant qu'il s'agit d'une étude d'exposition aiguë de 2 heures chez la souris et que ces expositions ne devraient donc pas être répétées. Le MDDELCC (2013, 2016) utilise également cette étude de Graham et al. (1978) et se réfère d'ailleurs à l'évaluation de l'OEHHA (2012) du gouvernement californien dans l'établissement d'une norme sur 24 heures. Néanmoins, la norme actuelle sur 24 heures du MELCC est une valeur limite à ne pas dépasser pour une exposition répétée dans le temps et donc considérant des mesures périodiques de concentrations dans l'air ambiant au cours d'une année. L'étude de Graham et al. (1978) a par ailleurs été réalisée avec le chlorure de nickel. Bien qu'étant une forme soluble, elle ne constitue pas une forme majeure de nickel dans l'air ambiant. Cette étude se limite aussi à une seule espèce expérimentale.

Il est à noter que les organismes et juridictions évalués utilisent ou appliquent parfois différemment les facteurs d'incertitudes au point de départ (POD) pour établir la valeur limite ou guide dans l'air ambiant ou encore considèrent un POD différent. En ce qui concerne la concentration de référence en moyenne annuelle dérivée par l'OEHHA (2012) du gouvernement californien ainsi que la valeur limite établie par le comité CSTEE (2001) de l'Union européenne, l'étude chronique du NTP (1996c) sur le sulfate de nickel a été utilisée par ces deux organismes mais le POD diffère. D'une part, l'OEHHA (2012) a revu la relation dose-réponse et a utilisé une approche statistique de dérivation d'un BMDL05 comme POD. D'autre part, le CSTEE (2001) a utilisé le LOAEL de l'étude du NTP (1996c) comme POD. Par ailleurs, l'OEHHA (2012) a dérivé un BDML05 ajusté pour une période d'exposition continue (considérant que l'étude animale était une exposition 6 heures/jour x 5 jours/semaine) et corrigé pour la variabilité dans la déposition respiratoire en appliquant un facteur d'ajustement dosimétrique (« dosimetric adjustment factor » ou DAF) établi à l'aide du modèle « Multiple-Path Particle Dosimetry » (MPPD). Le CSTEE (2001) a ajusté seulement pour une exposition continue en considérant un facteur de 6 pour le fait que l'exposition animale était de 6 heures par jour, 5 jours/semaine (24 heures/6 heures x 7 jours/5 jours = 5,6, arrondi à 6), sans correction pour la dosimétrie respiratoire (DAF). L'OEHHA (2012) a par ailleurs considéré qu'il n'était pas nécessaire d'appliquer un FI_L pour tenir compte du fait qu'un BMDL ait été utilisé, considérant ce BMDL chronique adéquat et un NOAEL établi dans l'étude du NTP. Le CSTEE (2001) a de son côté appliqué un FI_L de 10 pour l'extrapolation d'un LOAEL à NOAEL. De plus, l'OEHHA (2012) a appliqué un facteur d'extrapolation animal-humain FI_A de $\sqrt{10}$ alors que le CSTEE (2001) a utilisé un facteur de 10, mais n'a pas appliqué de DAF. En outre, l'OEHHA (2012) a appliqué un facteur d'incertitude pour la variabilité interindividuelle FI_H chez l'humain de 30 considérant une plus grande sensibilité des enfants et nouveaux nés alors que l'Union européenne (CSTEE 2001) a appliqué le facteur par défaut de 10. Enfin, le CSTEE (2001) a dérivé une valeur limite pour le nickel total (nickel et ses composés) en multipliant la valeur obtenue pour le sulfate de nickel par un facteur de 2 pour tenir compte du fait que ce composé représente environ 50% du nickel total dans l'air ambiant. Ce facteur n'a pas été appliqué par l'OEHHA (2012).

En somme, sur la base de la synthèse des différentes valeurs limites ou guides établies par différentes juridictions, il semblerait qu'une valeur limite en moyenne annuelle, applicable à toutes les formes de nickel, c'est-à-dire au nickel et ses composés, et établie sur la base de l'étude chronique du NTP (1996c) sur le sulfate de nickel serait à considérer pour la révision de la norme du nickel et ses composés dans l'air ambiant au Québec. Selon cette analyse, une valeur limite de 20 ng/m^3, en moyenne annuelle, dans la fraction particulaire PM10 semble protecteur des effets du nickel et ses composés.

Il est possible de faire l'exercice d'un calcul de valeur limite qui tienne compte de la synthèse des données de la littérature effectuée dans ce travail ainsi que de l'analyse des différents facteurs d'incertitudes et de l'ajustement dosimétrique appliqués par les divers organismes. Une valeur limite établie sur la base d'un BMDL déterminé statistiquement semblerait plus approprié que l'établissement d'un LOAEL (ou NOAEL) selon les nouvelles publications sur le sujet (U.S. EPA 2012; Edler 2014). Cette révision devrait aussi tenir compte de la correction pour la déposition respiratoire différente entre l'animal et l'humain, et des différences de fraction déposée entre l'adulte et des groupes potentiellement plus sensibles comme les enfants et les nouveau-nés comme considéré par l'OEHHA (2012); le modèle MPPD de dosimétrie de particules dans les voies respiratoires, reconnu par les grands organismes, pourrait être utilisé à cet effet. Considérant l'utilisation d'un BMDL, le BMDL05 de l'OEHHA (2012) extrapolé pour une période continue et ajusté pour la différence interespèce dans la déposition des particules dans les voies respiratoires (à l'aide du DAF) de 1,4 µg/m^3 semble justifié comme POD. Considérant aussi que cet ajustement dosimétrique permet de tenir compte des différences dans la toxicocinétique entre les espèces (composante toxicocinétique du FI_A), un facteur de $\sqrt{10}$ seulement apparait nécessaire pour tenir compte de la variabilité interespèce dans la toxicodynamique (composante toxicodynamique du FI_A). Un facteur d'incertitude FI_H pour la variabilité interindividuelle chez l'humain doit également être considéré; une valeur par défaut de 10 semble une valeur intermédiaire entre la valeur de 30 utilisée par l'OEHHA (2012) et la valeur de 5 calculée par le ECETOC (2003, 2010) à partir d'une analyse des données de la littérature sur la variabilité interindividuelle dans divers paramètres toxicocinétiques et toxicodynamiques dans la population générale.

Ainsi, la valeur dérivée est : BMDL05 ajusté pour une exposition continue et DAF (tel que calculé par OEHHA, 2012) x FI_A total de $\sqrt{10}$ x FI_H de 10 = 1,4 µg/m^3 x $\sqrt{10}$ x 10 = 0,044 µg/m^3 ou 44 ng/m^3. Considérant les incertitudes reliées à la cancérogénicité et le fait que le sulfate de nickel a été utilisé dans l'étude ayant servi à dériver le BMDL05, il apparait qu'une valeur de 0,020 µg/m^3 ou 20 ng/m^3 en moyenne annuelle, tel qu'utilisé par la majorité des juridictions, serait appropriée pour protéger les populations.

Il est à noter que les effets observés dans les études du NTP (1996a, b, c) à la suite d'une exposition intermédiaire ou chronique et ayant servi à dériver une valeur limite ou guide sont des effets inflammatoires et l'hyperplasie des macrophages. Ces effets inflammatoires peuvent aussi être déclenchés par une exposition à court terme et ont été observés dans des études aiguës avec le nickel (tableau 5). Selon la Loi de Haber, pour une exposition plus courte et donc des pics d'exposition, on peut s'attendre à ce qu'une concentration plus élevée soit nécessaire pour causer un effet inflammatoire. Toutefois, il est difficile à partir des données disponibles d'estimer ce facteur pour transposer une concentration associée à une inflammation active lors d'une exposition répétée ou chronique à une concentration associée à une inflammation lors d'une exposition aiguë ou court terme. Les individus sensibles (comme les asthmatiques) pourraient manifester des effets aigus à des concentrations où ne réagirait pas la population générale.

Sur la base de l'ensemble de ces considérations:

- **Une norme de 20 ng/m^3 en moyenne annuelle** est recommandée pour prévenir les effets respiratoires critiques, caractérisés par une réaction inflammatoire, associés à une **exposition répétée** au nickel et ses composés. Selon l'information disponible à l'heure

actuelle, cette valeur devrait également protéger contre les effets cancérogènes associés à l'exposition au nickel et ses composés.

- **Un objectif (valeur cible) à ne pas dépasser de 40 ng/m^3 pour toute mesure sur 24 heures** pourrait être visé pour prévenir les effets respiratoires chez les individus sensibles reliés à des **expositions transitoires** qui pourraient être plus élevées.

Tableau 15. Synthèse des normes et critères de qualité de l'air dans différents pays et méthode d'établissement

Juridictions /organisme	Type de valeur de référence	Norme ou critère	Forme de nickel	Fraction particulaire	Étude(s) de référence	Toxicité étudiée	Effet étudié	Voie d'exposition	Forme de nickel pour l'exposition dans l'étude de référence	Espèce critique	Point de départ (POD)	POD corrigé pour la période d'exposition et/ou le facteur d'ajustement dosimétrique (DAF)	Facteur d'incertitude total	Facteurs d'incertitude	Correction pour la forme de nickel	Effets observés au LOAEL	Références
Québec/ MELCC	Norme moyenne sur 24 heures	0,014 µg/m^3	Nickel et ses composés (nickel total)	PM10	Graham et al. (1978)	Aiguë	Immunotoxicité	Inhalation	$NiCl_2$	Souris	BMDL05= 165 µg Ni/m^3 (valeur calculée par OEHHA (2012))	BMDL05 ajusté pour la période = 14 µg/m^3 (=165 µg/m^3 x 2 h/24 h)	FI = 1000	FI_L = 10 FI_A = 10 FI_H = 10		Réponse immunitaire testée par les plaques de Jerne (diminution du nombre de plaques/10^6 cellules spléniques)	MDDELCC (2013, 2016)
Californie/ OEHHA	Reference Exposure Level (REL) aigu - exposition de 1 heure	0,2 µg/m^3	Nickel et ses composés (nickel total)	PM10	Graham et al. (1978) appuyé par Adkins et al. (1979)	Aiguë	Immunotoxicité	Inhalation	$NiCl_2$	Souris	BMDL05= 165 µg Ni/m^3 (valeur calculée par OEHHA (2012))	BMDL05 ajusté pour la période = 233 µg/m^3 (=165 µg/m^3 x(2)$^{1/2}$)	FI = 1000	FI_L = √10 FI_A = 10 FI_H = 30		Réponse immunitaire testée par les plaques de Jerne (diminution du nombre de plaques/10^6 cellules spléniques)	OEHHA (2012, 2013)
Californie/ OEHHA	Reference Exposure Level (REL) - exposition répétée de 8 heures	0,06 µg/m^3	Nickel et ses composés (nickel total)	PM10	NTP (1996c)	Chronique (2 ans) et évaluations intermédiaires (13 semaines)	Effets non cancérogènes pulmonaires	Inhalation	$NiSO_4$	Rat	NOAEL= 0,03 mg Ni/m^3 (= 30 µg/m^3)	HEC ajusté pour la période = 5,7 µg/m^3 (30 µg Ni/m^3 x 0,264 de DAF (facteur d'ajustement dosimétrique calculé à l'aide du modèle MPPD) x 5 jours/7 jours)	FI = 100	FI_A = √10 (considérant l'ajustement dosimétrique) FI_H = 30		Hyperplasie des macrophages alvéolaires	OEHHA (2012, 2013)

Juridictions /organisme	Type de valeur de référence	Norme ou critère	Forme de nickel	Fraction particulaire	Étude(s) de référence	Toxicité étudiée	Effet étudié	Voie d'exposition	Forme de nickel pour l'exposition dans l'étude de référence	Espèce critique	Point de départ (POD)	POD corrigé pour la période d'exposition et/ou le facteur d'ajustement dosimétrique (DAF)	Facteur d'incertitude total	Facteurs d'incertitude	Correction pour la forme de nickel	Effets observés au LOAEL	Références
Californie/ OEHHA	Reference exposure level (REL) chronique - nickel et ses composés (excepté l'oxyde de nickel)	0,014 µg/m^3	Nickel et ses composés (sauf le NiO)	PM10	NTP (1996c)	Chronique (2 ans)	Effets non cancérogènes pulmonaires	Inhalation	$NiSO_4$	Rat	BMLD05= 30,5 µg Ni/m^3	HEC ajusté pour une exposition continue = 1,4 µg/m^3 (30,5 µg/m^3 x 6 heures/24 heures x 5 jours/7 jours x DAF de 0,264)	FI = 100	FI_L = 1 (considérant un BMDL chronique adéquat disponible et un NOAEL établi dans l'étude du NTP) $FI_A = \sqrt{10}$ FI_H = 30		Protéinose alvéolaire chez les rats mâles et femelles	OEHHA (2012, 2013)
Californie/ OEHHA	Reference Exposure Level (REL) chronique - oxyde de nickel	0,020 µg/m^3	Oxyde de nickel	PM10	NTP (1996a)	Chronique (2 ans)	Effets non cancérogènes pulmonaires	Inhalation	NiO	Souris	BMLD05= 117 µg Ni/m^3	HEC ajusté pour une exposition continue = 2,0 µg/m^3 (117 µg/m^3 x 6 heures/24 heures x 5 jours/7 jours x DAF de 0,096)	FI = 100	FI_L = 1 (considérant un BMDL chronique adéquat disponible et un NOAEL établi dans l'étude du NTP) $FI_A = \sqrt{10}$ FI_H = 30		Inflammation pulmonaire chez les souris mâles et femelles	OEHHA (2012, 2013)
Ontario/ Gouvernement de l'Ontario	Critère de qualité de l'air ambiant (Ambient Air Quality Criteria) moyenne annuelle	0,020 µg/m^3	Nickel et ses composés (nickel total)	PM10	Union européenne et donc NTP (1996c)	Chronique (2 ans) et toxicité intermédiaire	Effets non cancérogènes et cancérogènes	Inhalation	$NiSO_4$	Rats et souris	LOAEL= 0,06 mg/m^3	LOAEL= 0,01 mg/m^3	FI = 1000	FI_L = 10 FI_A = 10 FI_H = 10	x 2 (considère 50% $NiSO_4$ dans le Ni total)	Inflammation active chronique, hyperplasie des macrophages pulmonaires; considère protéger contre le cancer et les effets des autres formes de nickel	Ontario Ministry (2012)

Juridictions /organisme	Type de valeur de référence	Norme ou critère	Forme de nickel	Fraction particulaire	Étude(s) de référence	Toxicité étudiée	Effet étudié	Voie d'exposition	Forme de nickel pour l'exposition dans l'étude de référence	Espèce critique	Point de départ (POD)	POD corrigé pour la période d'exposition et/ou le facteur d'ajustement dosimétrique (DAF)	Facteur d'incertitude de total	Facteurs d'incertitude	Correction pour la forme de nickel	Effets observés au LOAEL	Références
Ontario/ Gouvernement de l'Ontario	Critère de qualité de l'air ambiant (Ambient Air Quality Criteria) moyenne sur 24 heures	0,100 µg/m^3	Nickel et ses composés (nickel total)	PM10	AAQC moyenne annuelle pour les PM10										AAQC moyenne annuelle x 5 basé sur des données empiriques de surveillance, des ratios de concentrations observées pour différentes durées moyennes et des considérations météorologiques		Ontario Ministry (2012)
Ontario/ Gouvernement de l'Ontario	Critère de qualité de l'air ambiant (Ambient Air Quality Criteria) moyenne annuelle	0,040 µg/m^3	Nickel et ses composés (nickel total)	Particules totales en suspension (TSPM)	AAQC moyenne annuelle pour les PM10										x 2 (considère 50% PM10 dans TSPM)		Ontario Ministry (2012)
Ontario/ Gouvernement de l'Ontario	Critère de qualité de l'air ambiant (Ambient Air Quality Criteria) moyenne sur 24 heures	0,200 µg/m^3	Nickel et ses composés (nickel total)	TSPM	AAQC moyenne 24 h pour les PM10										x 2 (considère 50% PM10 dans TSPM)		Ontario Ministry (2012)

Juridictions /organisme	Type de valeur de référence	Norme ou critère	Forme de nickel	Fraction particulaire	Étude(s) de référence	Toxicité étudiée	Effet étudié	Voie d'exposition	Forme de nickel pour l'exposition dans l'étude de référence	Espèce critique	Point de départ (POD)	POD corrigé pour la période d'exposition et/ou le facteur d'ajustement dosimétrique (DAF)	Facteur d'incertitude de total	Facteurs d'incertitude	Correction pour la forme de nickel	Effets observés au LOAEL	Références
Union européenne	Valeur limite moyenne annuelle	0,020 µg/m^3	Nickel et ses composés (nickel total)	PM10	NTP (1996c)	Chronique (2 ans) et toxicité intermédiaire	Toxicité pulmonaire	Inhalation	$NiSO_4$	Rats et souris	LOAEL= 0,06 mg/m^3	LOAEL= 0,01 mg/m^3 (ajusté pour une exposition continue considérant 6 heures/24 heures et 5 jours/7 jours dans l'étude animale)	FI = 1000	FI_L = 10 FI_A = 10 FI_H = 10	x 2 (considère 50% $NiSO_4$ dans le Ni total)	Inflammation active chronique, bronchiolisation, hyperplasie des macrophages pulmonaires	CSTEE (2001)
France	Critère de qualité de l'air moyenne annuelle	0,020 µg/m^3			Union européenne												Ministère de l'Écologie (2010)
Norvège	Critère de qualité de l'air moyenne annuelle	0,020 µg/m^3			Union européenne												Norwegian Environment Agency, 2017
Australie	Aucune	Aucune															Department of the Environment and Energy (2017)
Australie - Département de l'ouest	Critère de qualité de l'air moyenne annuelle	0,003 µg/m^3	Nickel et ses composés	Non précisé	OMS	Chronique	Cancérogénicité	Inhalation		Travailleurs de raffinerie du nickel	Risque unitaire = 3,8 x 10^{-4} $(\mu g/m^3)^{-1}$					Cancer du poumon (excès de risque de 1 sur 1 000 000 pour une exposition à 0,0025 µg/m^3 (2,5 ng/m^3))	Government of Western Australia (2018); OMS (2000)

11. REFERENCES

ABC - American Biogenics Corp. 1996. *Ninety-day gavage study in albino rats using nickel, Draft Final Report submitted to Research Triangle Institute, P.O. Box 12194, Research Triangle Park*.

Adkins Jr, B., Richards, J., Gardner, D. 1979. Enhancement of experimental respiratory infection following nickel inhalation. *Environmental research, 20*(1), 33-42.

Norwegian Environment Agency. 2017. *Russian-Norwegian ambient air monitoring in the border areas*.

Åkesson, B., Skerfving, S. 1985. Exposure in welding of high nickel alloy. *International archives of occupational and environmental health, 56*(2), 111-117.

Ambrose, A., Larson, P., Borzelleca, J., Hennigar Jr, G. 1976. Long term toxicologic assessment of nickel in rats and dogs. *Journal of Food Science and Technology*. 13:181-187.

Anjilvel, S., Asgharian, B. 1995. A multiple-path model of particle deposition in the rat lung. *Toxicological Sciences, 28*(1), 41-50.

Andersen A. 1992. Recent follow–up of nickel refinery workers in Norway and respiratory cancer. *In:* Nieboer, E. & Nriagu, J.O., ed. *Nickel and human health*. New York, Wiley, 1992, pp. 621–628.

Andersen, A,, Berge, S.R., Engeland, A., Norseth, T. 1996. Exposure to nickel compounds and smoking in relation to incidence of lung and nasal cancer among nickel refinery workers. *Occup Environ Med* 53:708-713.

Antonsen, D., Meshri, D. T. 2005. Nickel compounds. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*.

Arena, V. C., Sussman, N. B., Redmond, C. K., Costantino, J. P., Trauth, J. M. 1998. Using alternative comparison populations to assess occupation-related mortality risk: results for the high nickel alloys workers cohort. *Journal of occupational and environmental medicine, 40*(10), 907-916.

Asgharian, B., Miller, F.J., Subramaniam, R.P. 1999. *Dosimetry software to predict particle deposition in humans and rats*. CIIT Activities, Chemical Industry Institute of Toxicology, Research Triangle Park, NC, USA. 19(3), 1-6.

ATSDR. 2005. *Toxicological profile for Nickel*. Atlanta,GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Bailey, M., Fry, F., James, A. 1985. Long-term retention of particles in the human respiratory tract. *Journal of aerosol science, 16*(4), 295-305.

Barbante, C., Boutron, C., Moreau, A.-L., Ferrari, C., Van de Velde, K., Cozzi, G., . . . Cescon, P. 2002. Seasonal variations in nickel and vanadium in Mont Blanc snow and ice dated from the 1960s and 1990s. *Journal of Environmental Monitoring, 4*(6), 960-966.

Benson, J. M., Burt, D. G., Carpenter, R. L., Eidson, A. F., Hahn, F. F., Haley, P. J., . . . Dunnick, J. K. 1988. Comparative inhalation toxicity of nickel sulfate to F344/N rats and B6C3F1 mice exposed for twelve days. *Toxicological Sciences, 10*(1), 164-178.

Benson, J. M., Cheng, Y.-S., Eidson, A. F., Hahn, F. F., Henderson, R. F., Pickrell, J. A. 1995. Pulmonary toxicity of nickel subsulfide in F344/N rats exposed for 1–22 days. *Toxicology, 103*(1), 9-22.

Berge, S. R., Skyberg, K. 2003. Radiographic evidence of pulmonary fibrosis and possible etiologic factors at a nickel refinery in Norway. *Journal of Environmental Monitoring, 5*(4), 681-688.

Boscolo, P., Andreassi, M., Sabbioni, E., Reale, M., Conti, P., Amerio, P., Di Gioacchino, M. 1999. Systemic effects of ingested nickel on the immune system of nickel sensitized women. Life Sci 64(17), 1485-1491.

Broder, I., Smith, J. W., Corey, P., Holness, L. 1989. Health status and sulfur dioxide exposure of nickel smelter workers and civic laborers. *Journal of occupational medicine.: official publication of the Industrial Medical Association, 31*(4), 347-353.

Chashschin, V. P., Artunina, G. P., Norseth, T. 1994. Congenital defects, abortion and other health effects in nickel refinery workers. *Science of the total environment, 148*(2-3), 287-291.

Chovil, A., Sutherland, R., Halliday, M. 1981. Respiratory cancer in a cohort of nickel sinter plant workers. *Occupational and Environmental Medicine, 38*(4), 327-333.

Christensen, O. B., Möoller, H. 1975. External and internal exposure to the antigen in the hand eczema of nickel allergy. *Contact Dermatitis, 1*(3), 136-141.

Ciccarelli, R.B., Wetterhahn, K.E. 1984. Molecular basis for the activity of nickel. In: Sunderman FW, *et al*., eds. *Nickel in the Human Environment*. Proceedings from joint symposium held at IARC, Lyon, France. Lyon: IARC, p. 201-213.

Cirla, A.M., Bernabeo F, Ottoboni F. 1985. Nickel induced occupational asthma: Immunological and clinical aspects. In *Progress in Nickel Toxicology*, edited by S. S. Brown and F. W. Sunderman. Boston Blackwell Scientific Publications.

Clemons, G. K., Garcia, J. F. 1981. Neuroendocrine effects of acute nickel chloride administration in rats. *Toxicology and applied pharmacology, 61*(3), 343-348.

CE. 2001. *Ambient Air Pollution by As, Cd and Ni Compounds. Position Paper.* Commission européenne (European Commission), Luxembourg. Repéré à http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/ppascdni .pdf%20

Coogan, T. P., Latta, D. M., Snow, E. T., Costa, M., Lawrence, A. 1989. Toxicity and carcinogenicity of nickel compounds. *CRC Critical reviews in toxicology, 19*(4), 341-384.

Cox, J., Doll, R., Scott, W., Smith, S. 1981. Mortality of nickel workers: experience of men working with metallic nickel. *Occupational and Environmental Medicine, 38*(3), 235-239.

Cronin, E., Di Michiel, A. D., Brown, S. 1980. Oral challenge in nickel-sensitive women with hand eczema. *Nickel toxicology, 5*.

CSTEE. 2001. *Position Paper on Ambient Air Pollution by Nickel Compounds. Final Version October 2000. Opinion expressed at the 22nd CSTEE plenary meeting*. Brussels. Repéré à http://ec.europa.eu/health/scientificcommittees/en_vironmentalrisks/opinions/sctee/sct_out93en.htm

Department of the Environment and Energy. 2018. *Air Quality Standards*. Government of Australia. http://www.environment.gov.au/protection/air-quality/air-quality-standards.

Daldrup, T., Haarhoff, K., Szathmary, S.C. 1983. [Fetal nickel sulfate intoxication]. Beitr Gerichtl Med 41, 141-144.

Donskoy, E., Donskoy, M., Forouhar, F., Gillies, C., Marzouk, A., Reid, M., . . . Sunderman, F. 1986. Hepatic toxicity of nickel chloride in rats. *Annals of Clinical & Laboratory Science, 16*(2), 108-117.

ECETOC. 2003. Derivation of Assessment Factors for Human Health Risk Assessment. Technical Report No. 86, February. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals. Brussels: ECETOC.

ECETOC 2010. Guidance on assessment factors to derive a DNEL. Technical Report No. 110, October. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals. Brussels: ECETOC AISBL. ISSN-0773-8072-110 (print), ISSN-2079-1526-110.

ECHA. 2017. Joint Task Force ECHA Committee for Risk Assessment (RAC) and Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL) on Scientific aspects and methodologies related to the exposure of chemicals at the workplace. TASK 2. 6 European Chemicals Agency. December 2017. Final report.

ECHA. 2018. Background Document in support of the Committee for Risk Assessment (RAC) for evaluation of limit values for nickel and its compounds in the workplace. European Chemicals Agency. ECHA/RAC/A77-0-0000001412-86-189/F

Edler, L. 2014. *Benchmark Dose in Regulatory Toxicology*. In: Reichl FX., Schwenk M. (eds) Regulatory Toxicology. Springer, Berlin, Heidelberg.

Egedahl, R., Rice, E. 1984. Cancer incidence at a hydrometallurgical nickel refinery. *IARC scientific publications*(53), 47-55.

Enterline, P. E., Marsh, G. M. 1982. Mortality among workers in a nickel refinery and alloy manufacturing plant in West Virginia. *Journal of the National Cancer Institute, 68*(6), 925-933.

Evans, J. E., Miller, M. L., Andringa, A., Hastings, L. 1995. Behavioral, histological, and neurochemical effects of nickel (II) on the rat olfactory system. *Toxicology and applied pharmacology, 130*(2), 209-220.

Fernández-Nieto, M., Quirce, S., Carnés, J., Sastre, J. 2006. Occupational asthma due to chromium and nickel salts. *International archives of occupational and environmental health, 79*(6), 483-486.

Füchtjohann, L., Jakubowski, N., Gladtke, D., Barnowski, C., Klockow, D., Broekaert, J.A. 2000. Determination of soluble and insoluble nickel compounds in airborne particulate matter by graphite furnace atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. Fresenius Journal of Analytical Chemistry 366(2), 142-5.

Goodman, J. E., Prueitt, R. L., Dodge, D. G., Thakali, S. 2009. Carcinogenicity assessment of water-soluble nickel compounds. *Critical reviews in toxicology, 39*(5), 365-417.

Goodman, J. E., Prueitt, R. L., Thakali, S., Oller, A. R. 2011. The nickel ion bioavailability model of the carcinogenic potential of nickel-containing substances in the lung. *Critical reviews in toxicology, 41*(2), 142-174.

Government of Western Australia (2018). *Amendment Notice. Environmental Protection Act 1986*. Department of Water and Environmental Regulation (DWER). https://www.der.wa.gov.au/component/k2/item/8265-w5840.

Graham, J., Miller, F., Daniels, M., Payne, E., Gardner, D. 1978. Influence of cadmium, nickel, and chromium on primary immunity in mice. *Environmental research, 16*(1-3), 77-87.

Gregoratto, D., Bailey, M., Marsh, J. 2010. Modelling particle retention in the alveolar–interstitial region of the human lungs. *Journal of Radiological Protection, 30*(3), 491.

Grimsrud, T. K., Berge, S. R., Haldorsen, T., Andersen, A. 2002. Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer. *American journal of epidemiology, 156*(12), 1123-1132.

Gouvernement du Québec. 2017. *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE, 2017)*. Qualité de l'environnement – Assainissement de l'atmosphère. Chapitre Q-2, a. 31, 53, 115.27, 115.34, 124.0.1 et 124.1. Gouvernement du Québec, 1er décembre 2017.

Haber, F. 1924. Zur geschichte des gaskrieges (*Fünf Vorträge aus den jahren 1920–1923* (p. 76-92): Springer.

Haley, P.J., Bice, D.E., Muggenburg, B.A., Hahn, F.F., Benjamin, S.A. 1987. Immunopathologic effects of nickel subsulfide on the primate pulmonary immune system. Toxicol Appl Pharmacol. 88(1), 1-12.

Haley, P. J., Shopp, G. M., Benson, J. M., Cheng, Y.-S., Bice, D. E., Luster, M. I., . . . Hobbs, C. H. 1990. The immunotoxicity of three nickel compounds following 13-week inhalation exposure in the mouse. *Toxicological Sciences, 15*(3), 476-487.

Harkin, A., Hynes, M. J., Masterson, E., Kelly, J. P., O'Donnell, J. M., Connor, T. J. 2003. A Toxicokinetic Study of Nickel-Induced Immunosuppression in Rats. *Immunopharmacology and immunotoxicology, 25*(4), 655-670.

Haro, R., Furst, A., Falk, H.1968. *Studies on the acute toxicity of nickelocene*. Communication présentée Proceedings of the Western Pharmacology Society.

Hattis, D., Erdreich, L., Ballew, M. 1987. Human variability in susceptibility to toxic chemicals—a preliminary analysis of pharmacokinetic data from normal volunteers. *Risk Analysis, 7*(4), 415-426.

Hattis, D., Silver, K. 1994. Human interindividual variability–a major source of uncertainty in assessing risks for noncancer health effects. *Risk Analysis, 14*(4), 421-431.

Hsieh, T., Yu, C., Oberdörster, G. 1999. Modeling of deposition and clearance of inhaled Ni compounds in the human lung. *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 30*(1), 18-28.

Huang, X., Frenkel, K., Klein, C., Costa, M. 1993. Nickel induces increased oxidants in intact cultured mammalian cells as detected by dichlorofluorescein fluorescence. *Toxicology and applied pharmacology, 120*(1), 29-36.

Huvinen, M., Uitti, J., Oksa, P., Palmroos, P., Laippala, P. 2002. Respiratory health effects of long-term exposure to different chromium species in stainless steel production. *Occupational medicine, 52*(4), 203-212.

IARC. 1990. *Chromium, nickel and welding. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*.

IARC. 2012. Nickel and nickel compounds. IARC Monographs 100C.

ICNCM. 1990. *Report of the International Committee on Nickel Carcinogenesis in Man*.: J Work Environ Health

Ishihara, Y., Kyono, H., Serita, F., Toya, T., Kawashima, H., Miyasaka, M. 2002. Inflammatory responses and mucus secretion in rats with acute bronchiolitis induced by nickel chloride. *Inhalation toxicology, 14*(4), 417-430.

Jensen, C. S., Lisby, S., Larsen, J. K., Veien, N. K., Menné, T. 2004. Characterization of lymphocyte subpopulations and cytokine profiles in peripheral blood of nickel-sensitive individuals with systemic contact dermatitis after oral nickel exposure. *Contact Dermatitis, 50*(1), 31-38.

Jerne, N. K., Nordin, A. A. 1963. Plaque formation in agar by single antibody-producing cells. *Science, 140*(3565), 405-405.

Jia, C., Roman, C., Hegg, C. C. 2010. Nickel sulfate induces location-dependent atrophy of mouse olfactory epithelium: protective and proliferative role of purinergic receptor activation. *Toxicological Sciences, 115*(2), 547-556.

Kerfoot, D. G. E., Krause, E., Love, B. J., Singhal, A. 2002. Hydrometallurgical process for the recovery of nickel and cobalt values from a sulfidic flotation concentrate: Google Patents.

Kitamura, T., Tanaka, N., Watanabe, J., Kanegasaki, S., Yamada, Y., Nakata, K. 1999. Idiopathic pulmonary alveolar proteinosis as an autoimmune disease with neutralizing antibody against granulocyte/macrophage colony-stimulating factor. *Journal of Experimental Medicine, 190*(6), 875-880.

Knight, J., Plowman, M., Hopfer, S., Sunderman, F. 1991. Pathological reactions in lung, liver, thymus, and spleen of rats after subacute parenteral administration of nickel sulfate. *Annals of Clinical & Laboratory Science, 21*(4), 275-283.

Labella, F. S., Dular, R., Lemon, P., Vivian, S., Queen, G. 1973. Prolactin secretion is specifically inhibited by nickel. *Nature, 245*(5424), 330.

Magnus, K., Andersen, A., Høgetveit, A. C. 1982. Cancer of respiratory organs among workers at a nickel refinery in Norway second report. *International journal of cancer, 30*(6), 681-685.

Mann, E., Ranft, U., Eberwein, G., Gladtke, D., Sugiri, D., Behrendt, H., . . . Wittsiepe, J. 2010. Does airborne nickel exposure induce nickel sensitization? *Contact Dermatitis, 62*(6), 355-362.

Mastromatteo. 1986. Yant memorial lecture: Nickel. *Am Ind Hyg Assoc 47*, 589-601.

McConnell, L., Fink, J., Schlueter, D., Schmidt, M. 1973. Asthma caused by nickel sensitivity. *Annals of internal medicine, 78*(6), 888-890.

MDDELCC. 2013. N*ickel. Projet de règlement modifiant le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, SAVEX-12579, Québec.

MDDELCC. 2016. *Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère*, version 5, Québec, Direction des avis et des expertises, ISBN 978-2-550-77015-2 (PDF), Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 29 p. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/criteres/index.htm

Menne, T., Maibach, H. 1989. Nickel allergic contact dermatitis: A review. *Journal of the American College of Toxicology, 8*(7), 1271-1273.

Moulin, J., Clavel, T., Roy, D., Dananche, B., Marquis, N., Févotte, J., Fontana, J. 2000. Risk of lung cancer in workers producing stainless steel and metallic alloys. *International archives of occupational and environmental health, 73*(3), 171-180.

Muir, D., Julian, J., Jadon, N., Roberts, R., Roos, J., Chan, J., . . . Morgan, W. 1993. Prevalence of small opacities in chest radiographs of nickel sinter plant workers. *Occupational and Environmental Medicine, 50*(5), 428-431.

Nieboer, E., Tom, R. T., Sanford, W. 1988. Nickel metabolism in man and animals. *Metal ions in biological systems, 23*, 91-122.

Nielsen, G. D., Søderberg, U., Jørgensen, P. J., Templeton, D. M., Rasmussen, S. N., Andersen, K. E., Grandjean, P. 1999. Absorption and retention of nickel from drinking

water in relation to food intake and nickel sensitivity. *Toxicology and applied pharmacology, 154*(1), 67-75.

NIPERA. 1996. *Occupational Exposure Limits: Criteria Document for Nickel and Nickel Compounds*. Washington

NiPERA. 2017. *2017-Workplace nickel DNEL derivation prepared by the Nickel REACH Consortia Secretariat (Nickel Institute-NiPERA, Appendix C2 to Nickel the Chemical Safety Reports)*. Repéré à http://www.nickelconsortia.eu/assets/files/RAC/2017%20Appendix%20C2%20to%20Nickel%20Chemical%20Safety%20Reports.pdf

Nishi, K., Morimoto, Y., Ogami, A., Murakami, M., Myojo, T., Oyabu, T., . . . Tanaka, I. 2009. Expression of cytokine-induced neutrophil chemoattractant in rat lungs by intratracheal instillation of nickel oxide nanoparticles. *Inhal Toxicol, 21*(12), 1030-1039. doi: 10.1080/08958370802716722

Norwegian Environment Agency. 2017. *Russian-Norwegian ambient air monitoring in the border areas*. Updated joint report 2010 – 2015. http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M761/M761.pdf

Norwegian Public Health Institute. 2018. *Air Pollution in Norway*. Public Health Report. https://www.fhi.no/en/op/hin/miljo/air-pollution-in-norway---public-he/

NTP. 1996a. T*echnical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Nickel Oxide (CAS No. 1313-99-1) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Inhalation Studies)*, Technical Report Series Number 451, NIH Publication No. 96-3363, National Toxicology Program (NTP), U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, Research Triangle Park, NC.

NTP. 1996b. *Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Nickel Subsulfide (CAS No. 12035-72-2) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Inhalation Studies)*, Technical Report Series Number 453, NIH Publication No. 96-3369, National Toxicology Program (NTP), U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, Research Triangle Park, NC.

NTP. 1996c. *Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Nickel Sulfate Hexahydrate (CAS No. 10101-97-0) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Inhalation Studies),* Technical Report Series Number 454, NIH Publication No. 96-3370, National Toxicology Program (NTP), U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, Research Triangle Park, NC.

Oberdorster, G. 1995. Lung particle overload: implications for occupational exposures to particles. *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 21*(1), 123-135.

Oberdörster G. 2001. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *Int Arch Occup Environ Health* 74(1), 1-8.

Obone, E., Chakrabarti, S.K., Bai, C., Malick, M.A., Lamontagne, L., Subramanian, K.S. 1999. Toxicity and bioaccumulation of nickel sulfate in Sprague-Dawley rats following 13 weeks of subchronic exposure. *J Toxicol Environ Health* A 57, 379-401.

OECD. 2018. *Test No. 452: Chronic Toxicity Studie*s. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4: Health Effects. Organisation for Economic Co-operation and Development Published on June 27, 2018

OEHHA. 2012. *Nickel Reference Exposure Levels*. Nickel and nickel compounds. Nickel oxide. Reference exposure levels (RELs). Office of Environmental Health Hazard Assessment, February 2012.

OEHHA. 2013. *Nickel Reference Exposure Levels. Nickel and nickel compounds. Nickel oxide. Reference exposure levels (RELs). Technical Support Document for Noncancer RELs. Appendix D1*. Repéré à https://oehha.ca.gov/media/downloads/crnr/appendixd1final.pdf.

Ogami, A., Morimoto, Y., Myojo, T., Oyabu, T., Murakami, M., Todoroki, M., . . . Tanaka, I. 2009. Pathological features of different sizes of nickel oxide following intratracheal instillation in rats. *Inhalation toxicology, 21*(10), 812-818.

Oller, A. R., Costa, M., Oberdörster, G. 1997. Carcinogenicity assessment of selected nickel compounds. *Toxicology and applied pharmacology, 143*(1), 152-166.

Oller, A. R., Kirkpatrick, D. T., Radovsky, A., Bates, H. K. 2008. Inhalation carcinogenicity study with nickel metal powder in Wistar rats. *Toxicology and applied pharmacology, 233*(2), 262-275.

OMS. 1999. *Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust WHO/SDE/OEH/99.14*. Repéré à http://www.who.int/occupationalhealth/publications /en/oehairbornedust3.pdf

OMS. 2000. *Air quality guidelines for Europe*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000

OMS. 2013. *Review of the evidence on health aspects of air pollution*.

Ottolenghi, A., Haseman, J., Payne, W., Falk, H., MacFarland, H. 1975. Inhalation studies of nickel sulfide in pulmonary carcinogenesis of rats. *Journal of the National Cancer Institute, 54*(5), 1165-1172.

Pang, D., Burges, D., Sorahan, T. 1996. Mortality study of nickel platers with special reference to cancers of the stomach and lung, 1945-93. *Occupational and environmental medicine, 53*(10), 714-717.

Pauluhn, J. 2010. Multi-walled carbon nanotubes (Baytubes®): approach for derivation of occupational exposure limit. *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 57*(1), 78-89.

Peto, J. 1984. Respiratory cancer mortality of Welsh nickel refinery workers. *IARC Sci Publ, 53*, 37-46.

Phillips, J. I., Green, F. Y., Davies, J. C., Murray, J. 2010. Pulmonary and systemic toxicity following exposure to nickel nanoparticles. *American journal of industrial medicine, 53*(8), 763-767.

Pott, F., Ziem, U., Reiffer, F.-J., Huth, F., Ernst, H., Mohr, U. 1987. Carcinogenicity studies on fibres, metal compounds, and some other dusts in rats. *Experimental pathology, 32*(3), 129-152.

Prows, D. R., Leikauf, G. D. 2001. Quantitative trait analysis of nickel-induced acute lung injury in mice. *American journal of respiratory cell and molecular biology, 24*(6), 740-746.

Redmond, C. 1984. Site-specific cancer mortality among workers involved in the production of high nickel alloys. *IARC scientific publications*(53), 73-86.

Rendall, R., Phillips, J., Renton, K. 1994. Death following exposure to fine particulate nickel from a metal arc process. *The Annals of occupational hygiene, 38*(6), 921-930.

Renwick, A., Lazarus, N. 1998. Human variability and noncancer risk assessment—an analysis of the default uncertainty factor. *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 27*(1), 3-20.

Roberts, R. S., Julian, J. A., Muir, D. C., Shannon, H. S. 1985. A Study of Mortality in Workers Engaged in the Mining, Smelting, and Refining of Nickel: Ii: Mortality from Cancer of the Respiratory Tract and Kidney. *Toxicology and industrial health, 5*(6), 975-993.

Rosen, S. H., Castleman, B., Liebow, A. A., Enzinger, F. M., Hunt, R. T. 1958. Pulmonary alveolar proteinosis. *New England Journal of Medicine, 258*(23), 1123-1142.

RTI. 1987. *Two generation reproduction and fertility study of nickel chloride administered to CD rats in drinking water: Fertility and reproductive performance of the Po generation (Part II of III) and F1 generation (Part III of III). Final study report*. Washington: U.S. EPA.

Rydh, C. J., Svärd, B. 2003. Impact on global metal flows arising from the use of portable rechargeable batteries. *Science of the Total Environment, 302*(1-3), 167-184.

Salnikow, K., Davidson, T., Costa, M. 2002. The role of hypoxia-inducible signaling pathway in nickel carcinogenesis. *Environmental health perspectives, 110*(Suppl 5), 831.

Salnikow, K., Davidson, T., Zhang, Q., Chen, L. C., Su, W., Costa, M. 2003. The involvement of hypoxia-inducible transcription factor-1-dependent pathway in nickel carcinogenesis. *Cancer research, 63*(13), 3524-3530.

SCOEL. 2011. *Recommendation From the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Nickel and Inorganic Nickel Compounds SCOEL/SUM/85*. Scientific Committee on Occupational Exposure Limits, June 2011.

Serita, F., Kyono, H., Seki, Y. 1999. Pulmonary clearance and lesions in rats after a single inhalation of ultrafine metallic nickel at dose levels comparable to the threshold limit value. *Industrial health, 37*(4), 353-363.

Seymour, J. F., Presneill, J. J. 2002. Pulmonary alveolar proteinosis: progress in the first 44 years. *American journal of respiratory and critical care medicine, 166*(2), 215-235.

Shannon, H. S., Julian, J. A., Roberts, R. S. 1984. A mortality study of 11,500 nickel workers. *Journal of the National Cancer Institute, 73*(6), 1251-1258.

Singla, A., Kaur, J., Mahmood, A. 2006. Alterations in the expression of intestinal enzymes in rats exposed to nickel. *Journal of Applied Toxicology, 26*(5), 397-401.

Sivulka, D. J., Conard, B. R., Hall, G. W., Vincent, J. H. 2007. Species-specific inhalable exposures in the nickel industry: a new approach for deriving inhalation occupational exposure limits. *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 48*(1), 19-34.

Smialowicz, R., Rogers, R. R., Riddle, M. M., Garner, R., Rowe, D., Luebke, R. 1985. Immunologic effects of nickel: II. Suppression of natural killer cell activity. *Environmental research, 36*(1), 56-66.

Snipes, M. B. 1989. Long-term retention and clearance of particles inhaled by mammalian species. *Critical reviews in toxicology, 20*(3), 175-211.

Sunderman JR, F. W., Aitio, A., Morgan, L. G., Norseth, T. 1986. Biological monitoring of nickel. *Toxicology and industrial health, 2*(1), 17-78.

Sunderman Jr, F., An, L., Zaharia, O., Wong, S., Hopfer, S. 1988. Acute depletion of pulmonary lavage cells, inhibition of 5-nucleotidase activity, and enhanced lipid peroxidation in alveolar macrophages of rats following parenteral injection of nickel chloride. *Toxicologist, 8*, 192-201.

Ten Berge, W., Zwart, A., Appelman, L. 1986. Concentration—time mortality response relationship of irritant and systemically acting vapours and gases. *Journal of Hazardous Materials, 13*(3), 301-309.

Texas Commission on Environmental Quality. 2011. Development of a unit risk factor for nickel and inorganic nickel compounds based on an updated carcinogenic risk assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 62(1), 191-201.

Toya, T., Serita, F., Sawatari, K., FUKUDA, K. 1997. Lung lesions induced by intratracheal instillation of nickel fumes and nickeloxide powder in rats. *Industrial health, 35*(1), 69-77.

Tundermann, J. H., Tien, J. K., Howson, T. E. 2005. Nickel and nickel alloys. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*.

U.S. EPA. 1985. H*ealth assessment document for nickel*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office, EPA/600/8-83/012F.

U.S. EPA. 1987a. *Nickel refinery dust*. Integrated Risk Information System (IRIS) U.S. Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Assessment. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0272_summary.pdf.

U.S. EPA. 1987b. *Nickel subsulfide; CASRN 12035-72-2*. Integrated Risk Information System (IRIS) U.S. Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Assessment. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0273_summary.pdf

U.S. EPA. 1991. *Nickel, soluble salts; CASRN Various*. Integrated Risk Information System (IRIS) U.S. Environmental Protection Agency, National Center for Environmental

Assessment. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0271_summary.pdf#nammeddest=rfd (dernier accès en juin 2018).

U.S. EPA. 1994. *Methods for derivation of inhalation reference concentrations and application of inhalation dosimetry*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/8-90/066F.

U.S. EPA. 2012. *Benchmark Dose Technical Guidance*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC 20460, EPA/100/R-12/001.

USGS. 2008. *Minerals Yearbook Nickel*.

Vaktsjold, A., Talykova, L., Chashchin, V., Odland, J., Nieboer, E. 2007. Small-for-gestational-age newborns of female refinery workers exposed to nickel. *International journal of occupational medicine and environmental health, 20*(4), 327-338.

Vaktsjold, A., Talykova, L. V., Chashchin, V. P., Nieboer, E., Thomassen, Y., Odland, J. Ø. 2006. Genital malformations in newborns of female nickel-refinery workers. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 41-50.

Vaktsjold, A., Talykova, L.V., Chashchin, V.P, Odland, J.O., Nieboer, E. 2008a. Maternal nickel exposure and congenital musculoskeletal defects. Am J Ind Med 51(11):825-33.

Vaktsjold, A., Talykova, L. V., Chashchin, V. P., Odland, J. Ø., Nieboer, E. 2008b. Spontaneous abortions among nickel-exposed female refinery workers. *International journal of environmental health research, 18*(2), 99-115.

Vyskocil, A., Viau, C., Čížková, M. 1994. Chronic Nephrotoxicity of Soluble Nickel in Rots. *Human & experimental toxicology, 13*(10), 689-693.

Yoshioka, N., Nakashima, H., Hosoda, K., Eitaki, Y., Shimada, N., Omae, K. 2008. Urinary excretion of an oxidative stress marker, 8-hydroxyguanine (8-OH-Gua), among nickel-cadmium battery workers. *Journal of occupational health, 50*(3), 229-235.

Yu, C., Hsieh, T., Oller, A. R., Oberdörster, G. 2001. Evaluation of the human nickel retention model with workplace data. *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 33*(2), 165-172.

Revue toxicologique de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel pour le volet air ambiant

Sommaire exécutif scientifique

Décembre 2018

Déposé à :

Monsieur Richard Masse
Directeur général du développement des industries
Ministère de l'Économie, de la science et de l'innovation
710, place D'Youville, 9e étage
Québec (Québec) G1R 4Y4

Monsieur François Houde
Directeur général
Ministère l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boul. René-Lévesque Est, 7e étage
Québec (Québec) G1R 5V7

Responsable scientifique

Michèle Bouchard, PhD
Professeure titulaire et directrice

Membres de l'équipe de rédaction

Jonathan Côté, MSc
Agent de recherche

Denis Dieme, PhD
Agent de recherche

Michèle Bouchard, PhD
Professeure titulaire et directrice

Département de santé environnementale et santé au travail
École de santé publique
Université de Montréal
C.P. 6128, Succursale Centre-Ville
Montréal, Québec, H3C 3J7

À la demande du Ministère de l'Économie, de la science et de l'innovation (MESI) et du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) du Québec, une revue des principales données toxicologiques et épidémiologiques et des méthodes ayant servi, à différents organismes ciblés, à dériver une norme ou un critère de qualité de l'air ambiant (valeurs guides) pour le nickel et ses composés a été réalisée.

Le nickel est un métal de transition qui se retrouve sous plusieurs formes dans l'environnement. En toxicologie, les formes les plus étudiées sont le nickel métallique (Ni), le sulfate de nickel ($NiSO_4$) soluble, le sous-sulfure de nickel (Ni_3S_2) partiellement soluble et l'oxyde de nickel (NiO) insoluble. Les formes sous-sulfure de nickel et oxyde de nickel en particulier ont montré un potentiel cancérogène chez l'animal. Toutefois, l'effet critique identifié dans les études toxicologiques est l'inflammation pulmonaire. Les normes et valeurs guides dans l'air ambiant proposées par la plupart des organismes sont donc basées sur ces effets pulmonaires critiques.

L'analyse des normes et des valeurs guides dans l'air ambiant établies par différents organismes dans différents pays ou différentes juridictions a montré que la norme actuelle du nickel et ses composés dans l'air ambiant au **Québec de 0,014 µg/m^3 (14 ng/m^3) pour une période de 24 heures est plus sévère** que les normes ou valeurs guides recommandées par la plupart des autres organismes et pays.

La norme actuelle du Québec est par ailleurs basée sur une étude d'immunotoxicité aiguë chez la souris (Graham et al. 1978) alors que **la plupart des organismes ont sélectionné** comme base les études de toxicité chronique (incluant la cancérogénicité) réalisées par le **National Toxicology Program (NTP, 1996a, b, c)** pour l'établissement d'une valeur limite ou guide dans l'air ambiant. Le NTP est un organisme reconnu mondialement pour des études sur la toxicité chronique et la cancérogénicité, menées selon les recommandations de l'OCDE 452 (« guidelines ») érigées par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, en anglais « Organisation for Economic Co-operation and Development » ou OECD) (OCDE 2018).

Les valeurs limites ou guides disponibles s'appliquent la plupart du temps au **nickel et ses composés, et donc au nickel total**, sauf dans le cas de la Californie (OEHHA 2012) qui a établi un REL chronique pour le nickel et ses composés autres que l'oxyde de nickel, d'une part, et pour l'oxyde de nickel seulement, d'autre part.

Les valeurs établies concernent toutes la mesure des concentrations dans les **PM10** et **donc des particules respirables** (celles pouvant atteindre le poumon profond). L'Ontario a par contre également dérivé un « Ambient Air Quality Criteria » (AAQC) pour les matières particulaires totales en suspension (TSPM), et donc les particules inhalables pouvant se déposer dans le nez et la bouche, sur la base des mêmes études et de la même approche que celles utilisées pour dériver un AAQC dans la fraction particulaire PM10.

Par ailleurs, la plupart des pays se basent sur une valeur **moyenne annuelle** de nickel et ses composés. Pour les pays de l'Europe comme la **France**, et pour la **Norvège,** ils utilisent la valeur limite **moyenne annuelle** proposée par l'Union européenne de 0,020 µg/m^3 ou 20 ng/m^3 (CSTEE 2001). L'**Ontario** a aussi retenu la valeur limite de l'Union européenne comme AAQC en **moyenne annuelle**. Néanmoins, en plus d'un **REL chronique** exprimé en **moyenne annuelle**, le gouvernement californien (OEHHA 2012)

a proposé une valeur pour une exposition de **1 heure (aREL) et 8 heures (REL 8 h)**. Le **MELCC** (anciennement MDDELCC) s'est d'ailleurs appuyé sur la valeur et la démarche proposée pour dériver le aREL de l'OEHHA pour une exposition 1 heure afin d'établir la norme actuelle sur une période de **24 heures**. Outre le MELCC, l'**Ontario** a proposé une valeur sur **24 heures en plus** d'une valeur moyenne annuelle, qui correspond à leur **moyenne annuelle à laquelle un facteur de conversion de 5 a été appliqué**.

L'Australie n'a pas de valeur pour l'air ambiant établie au niveau national, mais certains départements ont leur propre valeur guide. Notamment, l'Australie de l'Ouest se base sur la valeur moyenne annuelle de 3 ng/m^3 à éviter de dépasser, dérivée du risque de cancer calculé par l'OMS (2000) à partir des données de cancer du poumon chez les travailleurs de raffinerie de l'époque (concentration de 2,5 ng/m^3 associée à une chance sur 1 000 000 de développer un cancer du poumon).

Mise à part cette dernière valeur moyenne annuelle pour l'Australie de l'Ouest, tel que mentionné précédemment, les **études de référence pour dériver une valeur limite ou guide** dans l'air ambiant**, en moyenne annuelle,** sont celles du **NTP (1996a, b, c)**. En particulier, c'est l'étude de toxicité chronique sur le **sulfate de nickel du NTP (1996c)**, chez des rats et des souris exposés par inhalation, qui a été **retenue par l'OEHHA du gouvernement californien, l'Union européenne et donc indirectement la France, la Norvège et l'Ontario** pour l'établissement d'une valeur de référence dans l'air **pour le nickel et ses composés** (autres que l'oxyde de nickel dans le cas de la Californie (OEHHA 2012)). La Californie a par ailleurs retenu l'étude du NTP (1996a) sur l'oxyde de nickel pour dériver son REL chronique pour ce composé. Ces études du NTP ont été réalisées chez deux espèces, des deux sexes et, comme mentionné précédemment, le protocole suit les recommandations de l'OCDE 452.

Les évaluations de l'OEHHA (2012) du gouvernement californien et de l'Union européenne pour la toxicité chronique se basent sur les effets non cancérogènes du nickel observés dans les études du NTP et en particulier sur la toxicité pulmonaire (inflammation active chronique, bronchiolisation, hyperplasie des macrophages pulmonaires). Ces organismes ainsi que plusieurs juridictions indiquent par contre que les valeurs moyennes annuelles établies sur la base de la toxicité chronique devraient également protéger contre les effets cancérogènes. En outre, l'Union européenne et l'Ontario soulignent qu'une valeur limite basée sur la toxicité pulmonaire du sulfate de nickel devrait également être protecteur des effets pulmonaires associés aux autres formes de nickel. L'OEHHA (2012) mentionne quant à lui qu'une concentration de référence dérivée à partir de l'étude chronique du NTP sur le sulfate de nickel peut être utilisée pour tous les composés de nickel autres que les oxydes de nickel. Une valeur guide séparée a été dérivée par l'OEHHA pour prévenir la toxicité chronique de l'oxyde de nickel; toutefois, cette valeur est plus élevée que celle dérivée par cet organisme pour le nickel et ses composés autres que les oxydes de nickel. Ceci indique qu'une valeur limite basée sur les données de toxicité pulmonaire du sulfate de nickel serait appropriée pour prévenir les effets pulmonaires de tous les composés du nickel. L'utilisation des données de toxicité pulmonaire du sulfate de nickel est également soutenue par certains organismes (comme l'Ontario et l'Union européenne) par le fait que le sulfate de nickel représente une majeure partie des formes de nickel total dans l'air ambiant. Plus précisément, d'une part, en Ontario, les résultats de la spéciation des particules dans l'air ambiant indiquent que les deux formes principales retrouvées sont le sulfate de nickel et l'oxyde de nickel. D'autre part, au niveau de l'Union européenne et de son comité CSTEE (2001), il est indiqué que de nombreuses mesures de spéciation

du nickel dans l'air ambiant effectuées en Allemagne sur plusieurs sites montrent que le nickel soluble représente approximativement 50% de la composition totale des espèces de nickel dans l'air ambiant en milieu urbain (Feuchtjohann et al., 2000).

L'OEHHA (2012) a également retenu l'étude du NTP (1996c) pour l'établissement d'un REL 8 heures, mais en utilisant la toxicité pulmonaire observée à 13 semaines pendant l'étude chronique de deux ans. Pour l'établissement d'un aREL pour une période de 1 heure, l'OEHHA a par contre utilisé l'étude d'immunotoxicité de Graham et al. (1978), considérant qu'il s'agit d'une étude d'exposition aiguë de 2 heures chez la souris et que ces expositions ne devraient donc pas être répétées. Le MDDELCC (2013, 2016) utilise également cette étude de Graham et al. (1978) et se réfère d'ailleurs à l'évaluation de l'OEHHA (2012) du gouvernement californien dans l'établissement d'une norme sur 24 heures. Néanmoins, la norme actuelle sur 24 heures du MELCC est une valeur limite à ne pas dépasser pour une exposition répétée dans le temps et donc considérant des mesures périodiques de concentrations dans l'air ambiant au cours d'une année. L'étude de Graham et al. (1978) a par ailleurs été réalisée avec le chlorure de nickel. Bien qu'étant une forme soluble, elle ne constitue pas une forme majeure de nickel dans l'air ambiant. Cette étude se limite aussi à une seule espèce expérimentale.

Il est à noter que les organismes et juridictions évalués utilisent ou appliquent parfois différemment les facteurs d'incertitudes au point de départ (POD) pour établir la valeur limite ou guide dans l'air ambiant ou encore considèrent un POD différent. En ce qui concerne la concentration de référence en moyenne annuelle dérivée par l'OEHHA (2012) du gouvernement californien ainsi que la valeur limite établie par le comité CSTEE (2001) de l'Union européenne, l'étude chronique du NTP (1996c) sur le sulfate de nickel a été utilisée par ces deux organismes mais le POD diffère. D'une part, l'OEHHA (2012) a revu la relation dose-réponse et a utilisé une approche statistique de dérivation d'un BMDL05 comme POD. D'autre part, le CSTEE (2001) a utilisé le LOAEL de l'étude du NTP (1996c) comme POD. Par ailleurs, l'OEHHA (2012) a dérivé un BDML05 ajusté pour une période d'exposition continue (considérant que l'étude animale était une exposition 6 heures/jour x 5 jours/semaine) et corrigé pour la variabilité dans la déposition respiratoire en appliquant un facteur d'ajustement dosimétrique (« dosimetric adjustment factor » ou DAF) établi à l'aide du modèle « Multiple-Path Particle Dosimetry » (MPPD). Le CSTEE (2001) a ajusté seulement pour une exposition continue en considérant un facteur de 6 pour le fait que l'exposition animale était de 6 heures par jour, 5 jours/semaine (24 heures/6 heures x 7 jours/5 jours = 5,6, arrondi à 6), sans correction pour la dosimétrie respiratoire (DAF). L'OEHHA (2012) a par ailleurs considéré qu'il n'était pas nécessaire d'appliquer un FI_L pour tenir compte du fait qu'un BMDL ait été utilisé, considérant ce BMDL chronique adéquat et un NOAEL établi dans l'étude du NTP. Le CSTEE (2001) a de son côté appliqué un FI_L de 10 pour l'extrapolation d'un LOAEL à NOAEL. De plus, l'OEHHA (2012) a appliqué un facteur d'extrapolation animal-humain FI_A de $\sqrt{10}$ alors que le CSTEE (2001) a utilisé un facteur de 10, mais n'a pas appliqué de DAF. En outre, l'OEHHA (2012) a appliqué un facteur d'incertitude pour la variabilité interindividuelle FI_H chez l'humain de 30 considérant une plus grande sensibilité des enfants et nouveaux nés alors que l'Union européenne (CSTEE 2001) a appliqué le facteur par défaut de 10. Enfin, le CSTEE (2001) a dérivé une valeur limite pour le nickel total (nickel et ses composés) en multipliant la valeur obtenue pour le sulfate de nickel par un facteur de 2 pour tenir compte du fait que ce composé représente environ 50% du nickel total dans l'air ambiant. Ce facteur n'a pas été appliqué par l'OEHHA (2012).

En somme, sur la base de la synthèse des différentes valeurs limites ou guides établies par différentes juridictions, il semblerait qu'une valeur limite en moyenne annuelle, applicable à toutes les formes de nickel, c'est-à-dire au nickel et ses composés, et établie sur la base de l'étude chronique du NTP (1996c) sur le sulfate de nickel serait à considérer pour la révision de la norme du nickel et ses composés dans l'air ambiant au Québec. Selon cette analyse, une valeur limite de 20 ng/m^3, en moyenne annuelle, dans la fraction particulaire PM10 semble protecteur des effets du nickel et ses composés.

Il est possible de faire l'exercice d'un calcul de valeur limite qui tienne compte de la synthèse des données de la littérature effectuée dans ce travail ainsi que de l'analyse des différents facteurs d'incertitudes et de l'ajustement dosimétrique appliqués par les divers organismes. Une valeur limite établie sur la base d'un BMDL déterminé statistiquement semblerait plus approprié que l'établissement d'un LOAEL (ou NOAEL) selon les nouvelles publications sur le sujet (U.S. EPA 2012; Edler 2014). Cette révision devrait aussi tenir compte de la correction pour la déposition respiratoire différente entre l'animal et l'humain, et des différences de fraction déposée entre l'adulte et des groupes potentiellement plus sensibles comme les enfants et les nouveau-nés comme considéré par l'OEHHA (2012); le modèle MPPD de dosimétrie de particules dans les voies respiratoires, reconnu par les grands organismes, pourrait être utilisé à cet effet. Considérant l'utilisation d'un BMDL, le BMDL05 de l'OEHHA (2012) extrapolé pour une période continue et ajusté pour la différence interespèce dans la déposition des particules dans les voies respiratoires (à l'aide du DAF) de 1,4 µg/m^3 semble justifié comme POD. Considérant aussi que cet ajustement dosimétrique permet de tenir compte des différences dans la toxicocinétique entre les espèces (composante toxicocinétique du FI_A), un facteur de $\sqrt{10}$ seulement apparait nécessaire pour tenir compte de la variabilité interespèce dans la toxicodynamique (composante toxicodynamique du FI_A). Un facteur d'incertitude FI_H pour la variabilité interindividuelle chez l'humain doit également être considéré; une valeur par défaut de 10 semble une valeur intermédiaire entre la valeur de 30 utilisée par l'OEHHA (2012) et la valeur de 5 calculée par le ECETOC (2003, 2010) à partir d'une analyse des données de la littérature sur la variabilité interindividuelle dans divers paramètres toxicocinétiques et toxicodynamiques dans la population générale.

Ainsi, la valeur dérivée est : BMDL05 ajusté pour une exposition continue et DAF (tel que calculé par OEHHA, 2012) x FI_A total de $\sqrt{10}$ x FI_H de 10 = 1,4 µg/m^3 x $\sqrt{10}$ x 10 = 0,044 µg/m^3 ou 44 ng/m^3. Considérant les incertitudes reliées à la cancérogénicité et le fait que le sulfate de nickel a été utilisé dans l'étude ayant servi à dériver le BMDL05, il apparait qu'une valeur de 0,020 µg/m^3 ou 20 ng/m^3 en moyenne annuelle, tel qu'utilisé par la majorité des juridictions, serait appropriée pour protéger les populations.

Il est à noter que les effets observés dans les études du NTP (1996a, b, c) à la suite d'une exposition intermédiaire ou chronique et ayant servi à dériver une valeur limite ou guide sont des effets inflammatoires et l'hyperplasie des macrophages. Ces effets inflammatoires peuvent aussi être déclenchés par une exposition à court terme et ont été observés dans des études aiguës avec le nickel. Selon la Loi de Haber, pour une exposition plus courte et donc des pics d'exposition, on peut s'attendre à ce qu'une concentration plus élevée soit nécessaire pour causer un effet inflammatoire. Toutefois, il est difficile à partir des données disponibles d'estimer ce facteur pour transposer une concentration associée à une inflammation active lors d'une exposition répétée ou chronique à une concentration associée à une inflammation lors d'une exposition aiguë

ou court terme. Les individus sensibles (comme les asthmatiques) pourraient manifester des effets aigus à des concentrations où ne réagirait pas la population générale.

Sur la base de l'ensemble de ces considérations:

- **Une norme de 20 ng/m^3 en moyenne annuelle** est recommandée pour prévenir les effets respiratoires critiques, caractérisés par une réaction inflammatoire, associés à une **exposition répétée** au nickel et ses composés. Selon l'information disponible à l'heure actuelle, cette valeur devrait également protéger contre les effets cancérogènes associés à l'exposition au nickel et ses composés.

- **Un objectif (valeur cible) à ne pas dépasser de 40 ng/m^3 pour toute mesure sur 24 heures** pourrait être visé pour prévenir les effets respiratoires chez les individus sensibles reliés à des **expositions transitoires** qui pourraient être plus élevées.

Deloitte.

Économie et Innovation Québec

Évaluation des impacts économiques de la norme et de l'industrie du nickel au Québec

Rapport final

3 décembre 2018

Table des matières

Rappel du contexte de l'étude 3

Méthodologie, portée et limites de l'étude 5

Regard sur l'industrie de la production minière de nickel actuelle et sur son importance dans l'économie du Québec et de ses régions 15

Regard sur le contexte du marché mondial actuel et anticipé 19

Regard sur l'opportunité québécoise 24

Regard sur les impacts potentiels de la norme nickel en vigueur au Québec 28

Constats clés de l'étude 35

Annexe I - Regard sur les mesures de mitigation déployées 38

Annexe II – Détails en lien avec l'étude d'impact économique 49

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Rappel du contexte de l'étude

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Rappel du contexte de l'étude

Un resserrement de la norme nickel est entré en vigueur en décembre 2013. Cette norme est passée de 6 ug/m^3 sur une base horaire et 0,012 ug/m^3 pour un an dans les particules en suspension totale (PST) à un calcul sur une période de 24 heures et une valeur limite de 0,014 ug (14 ng/m^3) mesurée dans la fraction PM_{10} (particules fines) pour les nouveaux projets.

La valeur limite, la fréquence de mesure et d'autres conditions d'application de la norme nickel en vigueur au Québec soulèvent des enjeux pour différentes parties prenantes. Afin d'éclairer la situation sous ses différents angles (légal, toxicologique, technique, économique, etc.), le *Comité interministériel pour l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel en lien avec la qualité de l'air* a été mis sur pied. Celui-ci a pour but de superviser différentes études portant sur l'impact de la norme, dont celle-ci qui porte sur l'impact économique.

Les résultats de la présente étude permettent de quantifier ce qui est à risque en termes de retombées économiques attribuables à l'industrie du nickel et de se questionner sur les conséquences économiques de la norme sous sa forme actuelle.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Méthodologie, portée et limites de l’étude

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Collecte d'intrants
Étapes clés

- Collecte et analyse de données secondaires liées au marché du Québec (p.ex. NI 43-101, BAPE, données sur le commerce extérieur, etc.) et du Canada;
- Collecte et analyse de données secondaires liées au marché mondial (tendances au niveau de l'offre, de la demande, du prix, de la croissance passée et anticipée, etc.);
- Collecte et analyse de données secondaires sur les sociétés minières en préparation des entrevues;
- Élaboration de questionnaires d'entrevues contextuelles;
- Élaboration d'un fichier Excel pour faciliter la collecte de données chiffrées auprès des sociétés minières aux fins de calculs de l'impact économique actuel et potentiel de l'industrie, ainsi que l'impact de la norme nickel;
- Élaboration d'un fichier Excel sur les mesures de mitigation en place, basé sur les mesures d'atténuation incluses à la norme sectorielle du Ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique de l'Ontario (MOECC);
- Élaboration d'un questionnaire d'entrevues avec les sociétés minières;
- Consultation de six organisations (via entrevue et/ou autres) afin de mieux comprendre le contexte de l'industrie, leur position quant à la norme nickel, etc.;
- Consultation des deux organismes de santé publique ciblés par le client afin de mieux comprendre les impacts du nickel sur la santé et de tenter de recueillir des données chiffrées sur les coûts;
- Consultation des trois sociétés minières actuelles (Glencore et Canadian Royalties) et potentielles (RNC Minerals) afin de recueillir des intrants en lien avec leurs dépenses d'exploitation et d'investissement, leur dynamisme (innovation, commerce extérieur…), leur main-d'œuvre, les impacts de la norme, les mesures de mitigation en place, etc.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Collecte d'intrants
Consultations réalisées

Sociétés minières		
Glencore	Amélie Rouleau	Directrice - Affaires publiques, Communications et Engagement avec les communautés, Mine Raglan
	Marc Butler	Directeur – Affaires publiques et réglementaires, Port de Québec et Opérations intégrées de Sudbury
Canadian Royalties	Stephane Twigg	Surintendant Environnement
RNC Minerals	Alger St-Jean	Vice Président Exploration
	Stanislas Kételers	Spécialiste en développement durable
Ministères et organismes		
MELCC	Marie-Pier Brault	Biologiste, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, Direction des avis et des expertises
MERN	Renée Garon	Directrice générale de la gestion du milieu minier
	Louis Bienvenu	Ingénieur minier
MSSS	Marion Schnebelen	Directrice de la santé environnementale
	Christian Roy	Conseiller en santé environnementale
INSPQ	Stéphane Buteau	Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
Institut national des mines	Robert Marquis	Président directeur général
Associations		
Association minière du Québec	Josée Méthot	Présidente directrice générale
Association de l'exploration minière du Québec	Valérie Fillion	Présidente directrice générale
Centre de R&D et innovation[1]		
COREM	Claude Gagnon	Directeur – Secteur non ferreux

Note: 1. Un changement de direction au CONSOREM a malheureusement empêché de parler avec un représentant de cette organisation. De plus, le Groupe MISA n'a pas répondu aux multiples tentatives d'entrée en contact avec eux.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Impact économique et analyses complémentaires
Étapes clés

- Définition du périmètre de l'étude d'impact économique;
- Traitement et standardisation des données reçues des sociétés minières;
- Réalisation de trois simulations du modèle intersectoriel du Québec de l'Institut de la statistique du Québec, dont deux portant sur les dépenses d'exploitation, actuelles et futures, et une troisième couvrant les dépenses futures en immobilisation, soit :
  - Impact actuel des dépenses d'exploitation des sociétés minières au Québec dans le secteur du nickel;
  - Impact futur des dépenses d'exploitation des sociétés minières au Québec dans le secteur du nickel;
  - Impact potentiel des nouveaux projets d'investissement, incluant les projets d'expansion (Glencore) et les nouvelles implantations (RNC Minerals).
- Synthèse et mise en page des résultats des simulations;
- Mise en comparaison de certains extrants avec les données les plus récentes de l'AMQ sur les retombées économiques de l'ensemble du secteur minier du Québec;
- Consolidation des données sur les mesures de mitigation en place (ou prévue dans le cas de RNC Minerals);
- Documentation de certains aspects régionaux:
  - Analyse des comptes fournisseurs des deux sociétés minières en activité de manière à éliminer les doublons et à cartographier les établissements par région;
  - Consolidation des données d'emplois directs (excluant ceux des entrepreneurs) par région administrative et cartographie des résultats agrégés.
- Documentation des tendances de l'industrie à l'échelle mondiale et canadienne afin de contextualiser certains éléments des analyses québécoises et d'en faire ressortir l'importance commerciale du nickel dans l'économie moderne et dans le développement de filières d'avenir (p.ex. stockage énergétique);
- Exploration de certaines avenues complémentaires liées au dynamisme de l'industrie québécoise (innovation, exportations, etc.)

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Impact économique
Approche et hypothèses

- Les simulations réalisées auprès de l'ISQ sont les résultantes des dépenses d'exploitation et d'immobilisation de trois sociétés minières exploitant le nickel : Glencore (mine Raglan et leurs activités au Port de Québec), Canadian Royalties et RNC Minerals.

- Les données en provenance des sociétés minières sont compilées de sorte à conserver la confidentialité des sources, ainsi :
  - pour les dépenses d'exploitation, tant actuelles que futures, une moyenne pondérée a été établie afin de recréer une dépense moyenne annuelle laquelle inclut la dépense en capital qualifiée de récurrente.
  - Pour les dépenses d'immobilisation futures, tant celles associées à une expansion d'entreprise qu'à une nouvelle implantation, il est important de mentionner que ces dépenses sont transitoires, effectuées sur des périodes différentes et non récurrentes. Nonobstant ces quelques inégalités, les dépenses ont été d'abord sommées avant d'être soumises comme une simulation pour ensuite être reconverties sur une base annuelle moyenne correspondant à la durée des immobilisations soit approximativement 8 années.

- De plus, pour les dépenses d'exploitation, un ajustement s'est avéré essentiel afin de tenir compte des emplois des premiers fournisseurs travaillant sur les sites. En raison de la connaissance des sociétés minières, cet ajustement a consisté à réallouer un certain nombre de travailleurs comptabilisé initialement en termes d'effets indirects pour les relocaliser en effets directs, sans en modifier le total. Cet ajustement a encouru des ajustements à la masse salariale et aux revenus fiscaux.

- La notion de valeur ajoutée dans le présent rapport diffère de celle exprimée de l'ensemble du secteur minier en raison principalement qu'elles découlent de simulations basées sur les dépenses d'exploitation ce qui excluent notamment les revenus nets des entreprises.

- Les retombées économiques sont composées des effets directs et indirects. Les effets induits sont exclus de l'impact économique.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Impact économique

Modèle intersectoriel de l'Institut de la statistique du Québec (ISQ)

- En résumé, le modèle de l'ISQ est du type entrées-sorties ou « input-output » basé sur la structure interindustrielle du Québec avec les paramètres fiscaux de l'année courante. Ce modèle procède par simulation. Il est basé sur les déboursés ayant un impact sur l'économie du Québec (dépenses d'exploitation et d'immobilisation).
- Les résultats d'une simulation constituent des retombées économiques pour le Québec et ils sont présentés selon divers indicateurs : la main-d'œuvre (années-personnes ou ETC), la valeur ajoutée, la valeur des importations, les recettes fiscales et parafiscales des gouvernements du Canada et du Québec.
- Le modèle intersectoriel de l'ISQ permet de mesurer et de classer les impacts selon qu'ils appartiennent aux effets directs (directement attribuables au projet à l'étude) ou aux effets indirects (demandes de biens et services engendrées dans d'autres secteurs industriels).
- À noter que les effets induits sont exclus de la présente étude.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Impact économique
Modèle intersectoriel – définitions

Définitions des indicateurs

- **Main-d'œuvre :** la charge de travail utilisée par différents secteurs de l'économie du Québec et l'unité de mesure est l'année-personne (nombre d'heures normalement travaillées par une personne pendant un an.
- **Valeur ajoutée (PIB) :** la somme des rémunérations des facteurs de production, soit les salaires et traitements avant impôts, le revenu net des entreprises individuelles et des autres revenus bruts (le revenu net des entreprises non individuelles, les intérêts, les charges patronales, les bénéfices marginaux, les taxes municipales et scolaires, etc.
- **Importations** : la contribution du secteur extérieur (international et interprovincial) pour approvisionner les secteurs de l'économie québécoise en biens et services.
- **Revenus fiscaux et parafiscaux** : les montants calculés sur la base des paramètres en vigueur, basés sur les tables d'impôt québécoise et fédérale, les taxes indirectes et la parafiscalité (contribution des employeurs et des employés (RRQ, FSS. CSST, RQAP, Assurance-emploi)

Définitions des effets

- **Effets directs** : les impacts directement attribuables aux dépenses encourues par les sociétés minières et les employés des premiers fournisseurs travaillant sur le site. Dans le cas présent, il s'agit des emplois sur les sites miniers et de la masse salariale s'y rattachant, ainsi que de la contribution de l'employeur aux différents services publics.
- **Effets indirects :** les impacts résultant de la demande de biens et services engendrée par le projet, ou son exploitation, dans d'autres secteurs industriels, comme la demande de biens intermédiaires nécessaires à la fabrication d'un produit utilisé dans le projet. En fait, ils sont composés de la valeur ajoutée des premiers fournisseurs et des autres fournisseurs.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Impact économique
Portée et limites de l'étude

Impact économique de l'industrie

- La finesse des analyses et de leurs résultats est tributaire des informations de base qui ont été rendues accessibles à Deloitte.
- L'impact économique de l'industrie du nickel est fondé sur les informations obtenues des sociétés minières. Ces informations n'ont pas fait l'objet de vérifications indépendantes.
- Les données financières en lien avec le projet Dumont sont issues du rapport technique NI 43-101 de juillet 2013 qui ont été commentées et contextualisées lors de l'entrevue. Il a été convenu que les données sont généralement encore représentatives en l'an 2017, soit l'année des données recueillies pour les minières en activité. Il convient toutefois de souligner que RNC Minerals procède à la mise à jour de l'étude de faisabilité du projet Dumont. Cette mise à jour est prévue la fin du premier semestre 2019.
- Les impacts attribuables à la filière nickel incorporent ceux associés à des coproduits tels que le cobalt, le cuivre ou autres.
- Étant donné la confidentialité des données et l'agrégation qui en résulte, l'interprétation du portrait obtenu est limitée par les fortes disparités entre les différents projets (p.ex. opérations souterraines ou à ciel ouvert, sites reliés ou non aux réseaux de transport terrestre et énergétique, etc.).

Aspects régionaux

- Les aspects régionaux liés aux fournisseurs et à la main-d'œuvre sont fondés sur les informations obtenues des sociétés minières. Ces informations n'ont pas fait l'objet de vérifications indépendantes.
- Les données partielles obtenues des opérateurs actuels de mines de nickel n'ont pas permis la régionalisation de l'activité économique des fournisseurs relative aux commandes reçues (en $). L'analyse s'est limitée à la répartition régionale du nombre d'établissements fournisseurs.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Impacts de la norme nickel
Portée et limites de l'étude

Impacts de la norme

- L'étude se limite à l'impact de la norme lié aux activités des sociétés minières actuelles (Canadian Royalties et Glencore, incl. activités au Port de Québec) et potentielles (RNC Minerals).
- L'approche présentée dans l'offre de service, selon laquelle l'impact économique de la norme nickel peut être calculé comme la différence entre l'impact actuel et celui potentiel associé aux projets futurs, a été réalisée. Elle met donc de l'avant ce qui est à risque, mais ne permet pas calculer un niveau précis d'impact selon une valeur limite donnée ou selon une variation de valeur limite. Ainsi, l'évaluation porte sur le caractère contraignant de la norme dans son état actuel, notamment au fait que la norme (seuil et dans ses conditions d'application) serait la plus sévère au monde[1], non pas sur un seuil en particulier. De plus, soulignons que le niveau prévisionnel d'impact économique de la norme est tributaire de plusieurs facteurs incertains, dont un nombre imprévisible de dépassements et de niveaux d'amendes, de nouvelles exigences quant aux éléments de mitigation, de niveau de perception de risque par les communautés avoisinantes, etc.
- En complément de cette analyse et face aux résultats non concluants de certaines analyses complémentaires, une approche visant à chiffrer les coûts des mesures de mitigation liés à la norme nickel a été entreprise. Il s'est toutefois avéré difficile de cerner les coûts attribuables à la norme nickel considérant la présence de plusieurs normes et règlements en lien avec la qualité de l'air qui ont nécessité la mise en place de mesures de mitigation avant et en parallèle de celles en lien avec le nickel. Des indicateurs quant à l'étendue des mesures de mitigation déjà déployées et des coûts engagés ressortent tout de même.
- La confidentialité des données associées à chaque minière limite l'étendue des résultats présentés et la documentation de certaines hypothèses.

Note: 1. Le constat comme quoi la norme nickel en vigueur serait plus contraignante qu'ailleurs dans le monde ne relève pas d'analyses réalisées par Deloitte, mais plutôt de conclusions d'études réalisées en parallèle à celle-ci à la demande du *Comité interministériel pour l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel en lien avec la qualité de l'air.*

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Analyses complémentaires
Portée et limites de l'étude

Analyses complémentaires

- En parallèle des impacts économiques de l'industrie et de la norme nickel, il avait été convenu de tenter de réaliser différentes analyses complémentaires. Plusieurs d'entre elles n'ont toutefois pas été concluantes par manque de données ou d'incohérences au sein de celles disponibles.

  - En lien avec la santé publique, il avait été convenu de tenter de documenter certains éléments sur la base des données rendues disponibles à Deloitte. Les entrevues réalisées auprès des institutions en santé publique du Québec se sont toutefois avérées non concluantes quant à la disponibilité de données, ne permettant pas de réaliser quelconque analyse chiffrée. De surcroît, les coûts associés à différents systèmes de santé étant difficilement comparables, une approche par balisage n'est pas à privilégier.

  - En lien avec les aspects liés à l'innovation, un seul des trois centres de recherche ciblés par le client a accepté de réaliser une entrevue avec Deloitte, soit le COREM. Les activités de traitement du minerai étant réalisées à l'intérieur de bâtiment fermé, il est perçu que la norme n'aura pas d'implications majeures en termes de travaux de R&D pour ce centre. De plus, les investissements en R&D n'étant pas divulgués par les deux sociétés en activité au Québec, cet élément n'a pas pu être documenté davantage pour des raisons de confidentialité et de volonté de tenir un discours sur l'ensemble de l'industrie, non pas une seule entreprise.

  - En lien avec les aspects liés à l'exportation, les données sur le commerce en direct d'Industrie Canada pour le nickel présentaient des incohérences. Étant dans l'impossibilité d'expliquer ces dernières et d'obtenir de nouvelles données, cet aspect n'a pas été documenté.

- Une évaluation sommaire de l'importance commerciale du nickel dans l'économie mondiale moderne a été réalisée tel que convenu dans l'offre de services. Les informations fournies ne sont toutefois pas le résultat d'une étude exhaustive du marché et de ses opportunités. Les nombres sont donnés à titre indicatif et ne devrait pas être utilisés pour prendre quelconque décision d'investissement. Ils n'ont pas fait l'objet d'une analyse poussée et sont donc à interpréter et utiliser avec retenue et de prudence.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur l’industrie de la production minière de nickel actuelle et son importance dans l’économie du Québec et de ses régions

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

La production minière de nickel, un secteur ayant un impact significatif dans l'économie du Québec

Dépenses d'exploitation et CAPEX récurrent, 2017

Injections au Québec

Masse salariale (incluant entrepreneurs miniers)	Achats de biens et services	**Total**
209,8 M$	313,5 M$	**523,4 M$**

14% du secteur minier[1]

Impacts économiques annuels liés aux dépenses d'exploitation

Emplois (ETC)		**PIB**	**Revenus Gouv. QC**
Directs	Directs et indirects	Direct et indirect	Directs et indirects
1 955	**2 957**	**340,2 M$**	**72,3 M$**

10% du secteur minier[1]

Les deux opérateurs miniers de nickel du Québec, Glencore (mine Raglan et Port de Québec) et Canadian Royalties (Nunavik nickel) injectent annuellement plus de 500 M$ au Québec soit environ 210 M$ en masse salariale (incluant les entrepreneurs) et près de 315 M$ en achats de biens et services. Cela représente environ 14% des dépenses d'exploitation de l'ensemble du secteur minier[1].

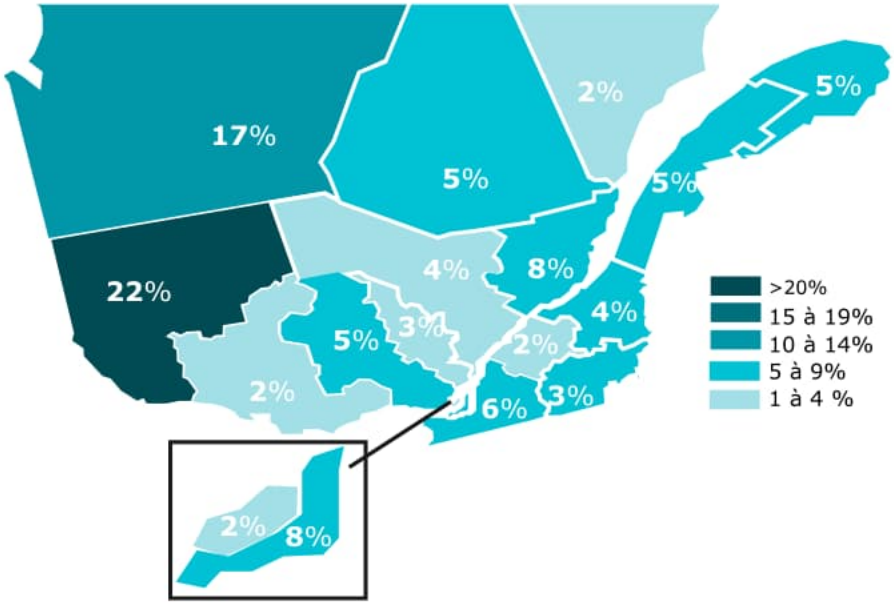
L'impact de ces dépenses se traduit annuellement par plus de 2900 emplois (ETC) directs et indirects, soit environ 10% de l'ensemble des emplois du secteur minier[1] et représente 340 M$ en PIB, tout en contribuant à environ 70 M$ de revenus fiscaux et parafiscaux annuels du Gouvernement du Québec.

Note: 1. Comparaison basée sur l'Étude sur les retombées économiques du secteur minier de l'Association minière du Québec (2016)
Sources: Analyses Deloitte basées sur les données recueillies de Glencore et Canadian Royalties traitées via le modèle intersectoriel de l'Institut de la statistique du Québec

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

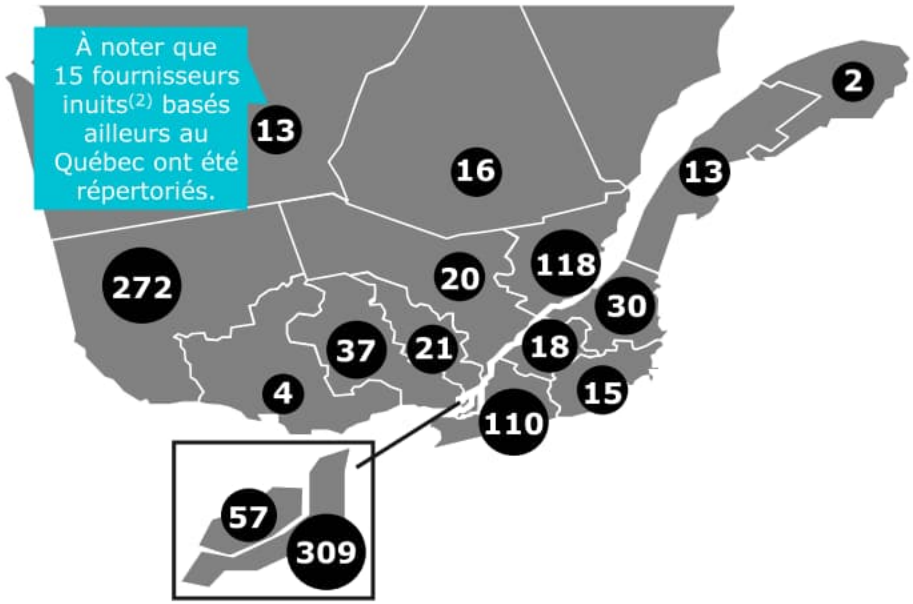
Bien que la production soit actuellement située à 100% dans le Nord-du-Québec, c'est l'ensemble des régions du Québec qui tire profit de ses retombées économiques

Répartition des emplois directs (excluant les entrepreneurs)



Les producteurs miniers de nickel du Québec mettent à contribution une main-d'œuvre en provenance de l'ensemble des régions administratives du Québec

Répartition du nombre d'établissements fournisseurs[1]



Les deux producteurs miniers de nickel du Québec ont recours à plus de 1000 établissements fournisseurs répartis à travers 16 des 17 régions administratives du Québec.

Notes: 1. La répartition a été effectuée sur la base de l'adresse de facturation de l'établissement. À noter qu'une vingtaine de fournisseurs communs aux deux mines ayant des adresses différentes en raison de recours à un établissement différent ont été répertoriés. La répartition en dollars n'étant pas disponible pour les deux entreprises, il n'a pas été possible de la documenter par respect de la confidentialité des données propres à chaque organisation. **2.** Selon le registre des entreprises inuites de Makivik

Sources: Analyses Deloitte basées sur les données recueillies de Glencore et Canadian Royalties

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Plus de 20 ans après la première entente sur les répercussions et les avantages, ce sont 22% des dépenses et 17% des emplois qui sont octroyés à des groupes autochtones

L'Entente Raglan fut la première entente sur les répercussions et les avantages (ERA) avec un groupe autochtone à être signée pour un projet minier au Canada. Depuis son développement, celle-ci a été utilisée comme point de référence pour d'autres accords concernant les Autochtones dans l'industrie minière (dont ceux des autres producteurs de nickel au Québec) et dans d'autres secteurs industriels.

Cette entente socioéconomique globale traite notamment de questions liées à :

- la protection de l'environnement et à l'atténuation des impacts des activités minières sur le territoire;
- aux dispositions financières (partage des profits et autres);
- à l'octroi de contrats en priorité aux entreprises inuites;
- à la formation et l'emploi pour les communautés locales.

Cette entente, signée il y a plus de 20 ans (1995), a pavé le chemin à des relations durables avec les communautés autochtones. En 2017, ce sont…

- **22% des dépenses d'exploitation** (incluant masse salariale et achats de biens et services)
- **17% des emplois** directs des sites miniers (excluant les entrepreneurs)

… qui sont octroyés aux communautés autochtones avoisinantes des projets de Glencore et Canadian Royalties. À cela s'ajoutent entre autres des montants de partage de profit et certains éléments «in kind».

Sources: Analyses Deloitte basées sur les données recueillies de Glencore et Canadian Royalties; site Internet de Glencore

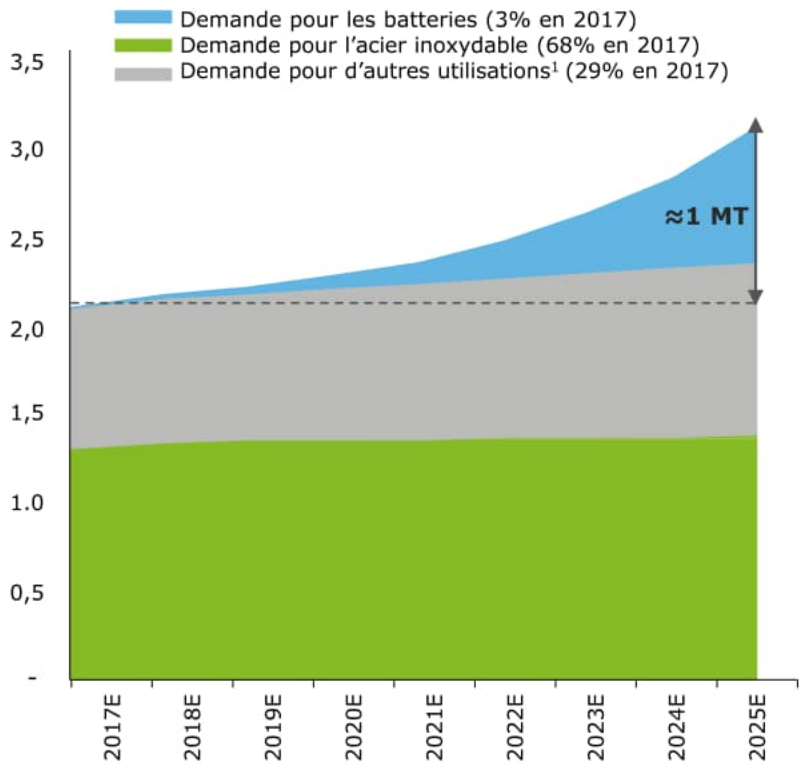
© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur le contexte du marché mondial actuel et anticipé

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

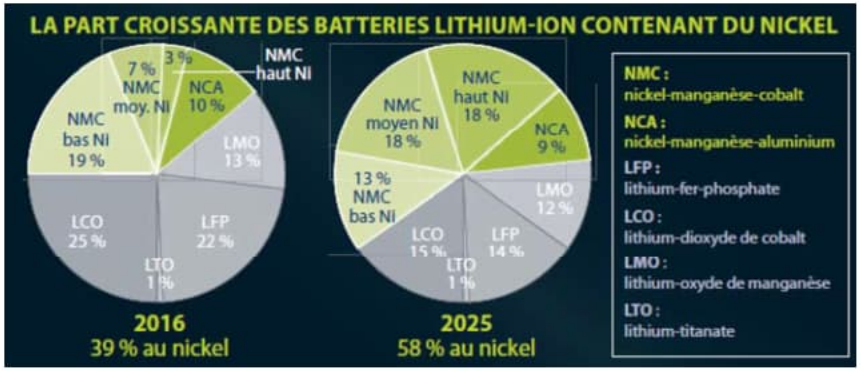
La demande mondiale pour le nickel est en croissance; une demande additionnelle de plus d'un million de tonnes est prévue en 2025

Projection de la demande mondiale de nickel, en MT



La demande pour l'acier inoxydable, qui, à elle seule, requiert actuellement plus de 1,3 million de tonnes de nickel continuera de croître, mais faiblement. La demande pour les autres utilisations, particulièrement pour les batteries, est quant à elle prévue d'augmenter substantiellement, créant ainsi le besoin d'une capacité additionnelle d'environ 1 million de tonnes en 2025.

La croissance anticipée pour le marché des batteries s'explique entre autres par la croissance anticipée des ventes de véhicules électriques et des systèmes de stockage énergétique ainsi que par une transition vers des batteries NMC et NCA et des chimies à teneur en nickel plus élevée.



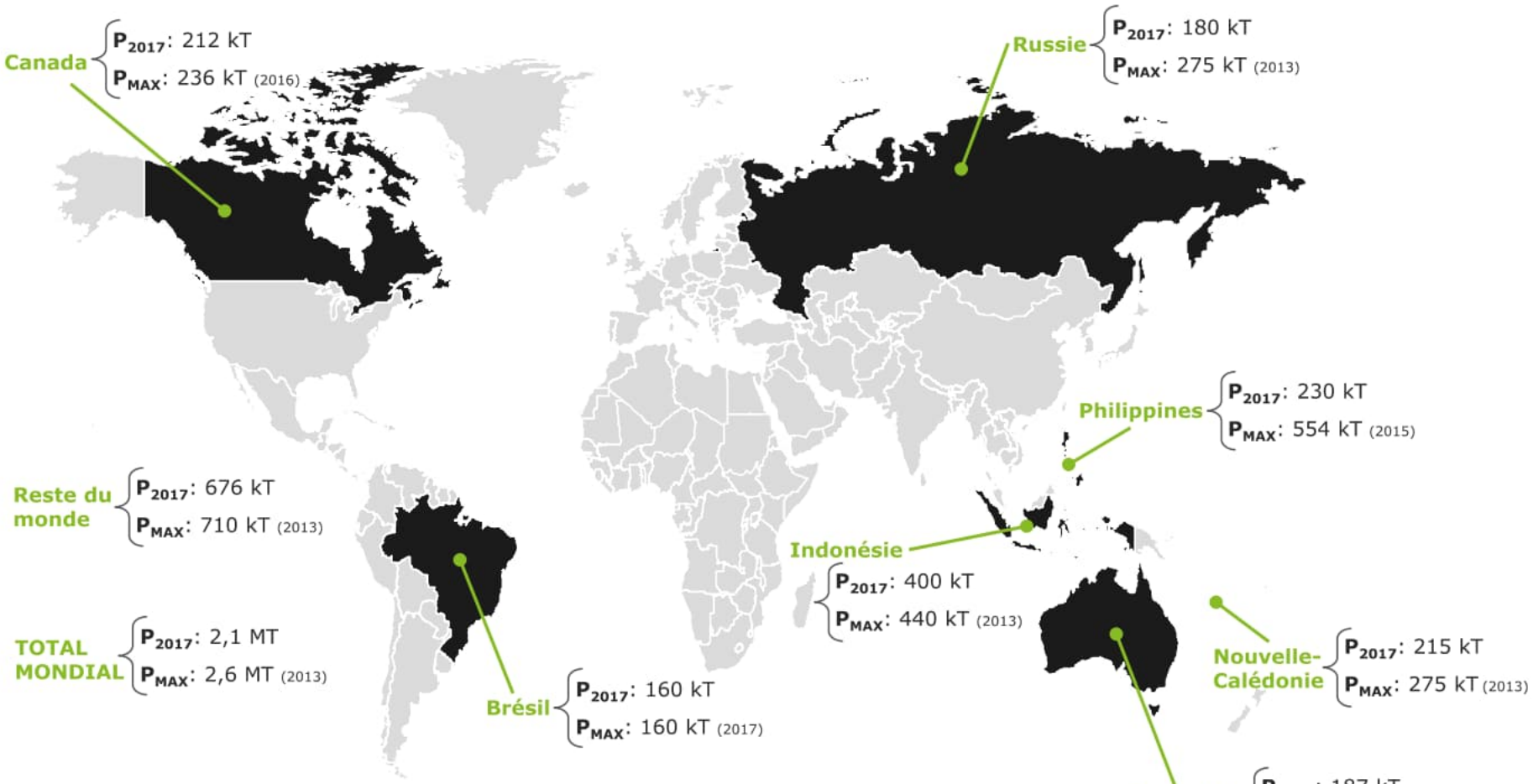
Le nickel est déjà une composante clé de deux des principaux fabricants de véhicules électriques (Tesla et Chevrolet (Volt)). De plus, la Chine, géant de la production mondiale, aurait enclenché une transition de batteries LFP vers des batteries NMC à haute teneur en nickel ce qui augmentera substantiellement la demande.

Considérant les délais de développement de nouveaux projets miniers, ceux qui souhaitent saisir cette opportunité devront se positionner rapidement.

Notes: 1. 16% pour des alliages, 9% pour de l'électronickelage, 3% pour du moulage et 1% pour d'autres utilisations diverses
Sources: Deloitte, «EV market – Growth and Impact on Mining», 2018; Nickel Institute, revue Nickel, volume 32 , No1, 2017; UBS Global Commodities, «Nickel-Big Winner from Electric Vehicles», 2017; Ressources Naturelles Canada, «Faits sur le nickel», 2018;.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

De nouveaux projets seront nécessaires pour répondre à la hausse de la demande anticipée pour le nickel



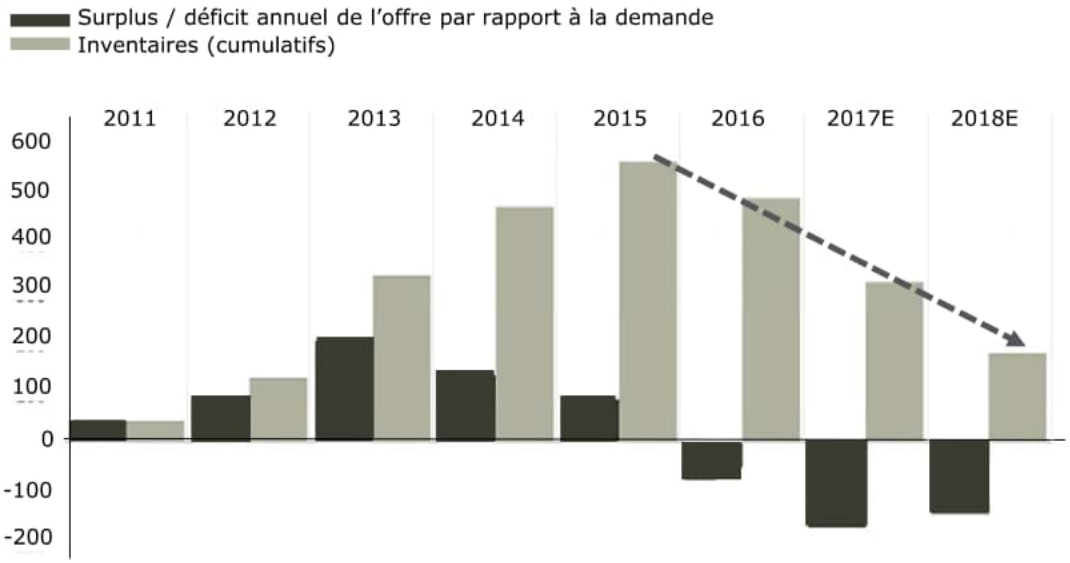
La demande anticipée pour le nickel devrait atteindre plus de 3 M de tonnes par année en 2025. Même en retournant au niveau plafond de production de 2013 (2,6 MT), une offre additionnelle de plus de 400 kt sera nécessaire. Soulignons que le Canada se taille une place de choix sur la scène mondiale avec environ 10% de la production minière de nickel.

Notes: P_{2017}: Production de 2017, P_{MAX}: Production maximale depuis 2013
Sources: USGS, «Mineral Commodity Summaries: Nickel», 2018; Ressources naturelles Canada, «Faits sur le nickel», 2018; Investing News, Top 10 nickel producing countries, 2018

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

La demande mondiale de nickel surpasse déjà l'offre depuis quelques années; une fenêtre d'opportunité semble être accessible dès maintenant

Évolution du surplus (déficit) annuel de l'offre par rapport à la demande mondiale et des inventaires de nickel, en kT



Pour la première fois depuis 2013, la production mondiale a crû en 2017. Cette croissance de l'offre ne permet toutefois pas de combler la hausse de la demande, créant ainsi un déficit de l'offre par rapport à la demande et une diminution des inventaires mondiaux de nickel.

Les déficits annuels de 2016 et 2017 ont réduit considérablement les inventaires. Un déficit est également prévu pour 2018.

De nouveaux projets seront nécessaires pour renflouer les coffres.

Sources: Ressources Naturelles Canada, «Faits sur le nickel», 2018; Glencore, «Nickel: State of the Market», 2017; USGS, «Mineral Commodity Summaries: Nickel», 2018

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Après une chute jusqu'à un niveau plancher comparable à celui de la crise financière de 2008, le prix du nickel est en hausse, favorisant ainsi le démarrage de nouveaux projets

Évolution du prix du nickel passée – janvier 2009 au 30 septembre 2018 – et prévisionnelle 2019 à 2025

- Au cours des dernières années, divers événements se sont produits sur la scène internationale au sein d'importants pays producteurs et/ou acheteurs de nickel (1 la suspension des exportations de nickel de l'Indonésie, 2 l'arrêt drastique des achats de la Chine suite au scandale financier du port de Quingdao, 3 la fermeture de nombreuses usines aux Philippines, etc.), ce qui a entraîné de grandes fluctuations du prix du nickel. Celui-ci est passé d'environ 20 000 $US/t à la mi-2014 à près de 8 000 $US/t à la mi-2016, soit aux alentours du prix plancher pendant la crise financière de 2008.
- Depuis la mi-2017, le prix suit toutefois une trajectoire à la hausse qui devrait se poursuivre d'ici 2025 selon le Groupe de la Banque mondiale, favorisant ainsi le démarrage de nouveaux projets.

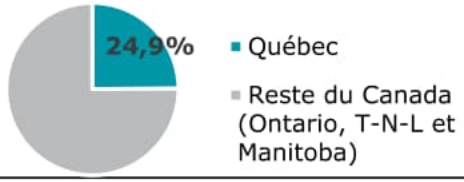
Sources: London Metal Exchange, «LME Nickel historical price graph«, Oct.2018; «Le Groupe de la Banque mondiale, «World Bank Commodities Price Forecast», Oct. 2018; Reuters, «Why is nickel trading like it's 2008?», Sept. 2015; Financial Times «Nickel prices surge after Philippines shuts down mines», Fév. 2017.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur l’opportunité québécoise

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Le projet d'allongement de la durée de vie de la mine Raglan et le projet Dumont (phase II) doubleraient la production québécoise de nickel, l'amenant à environ 105 000 tonnes par année

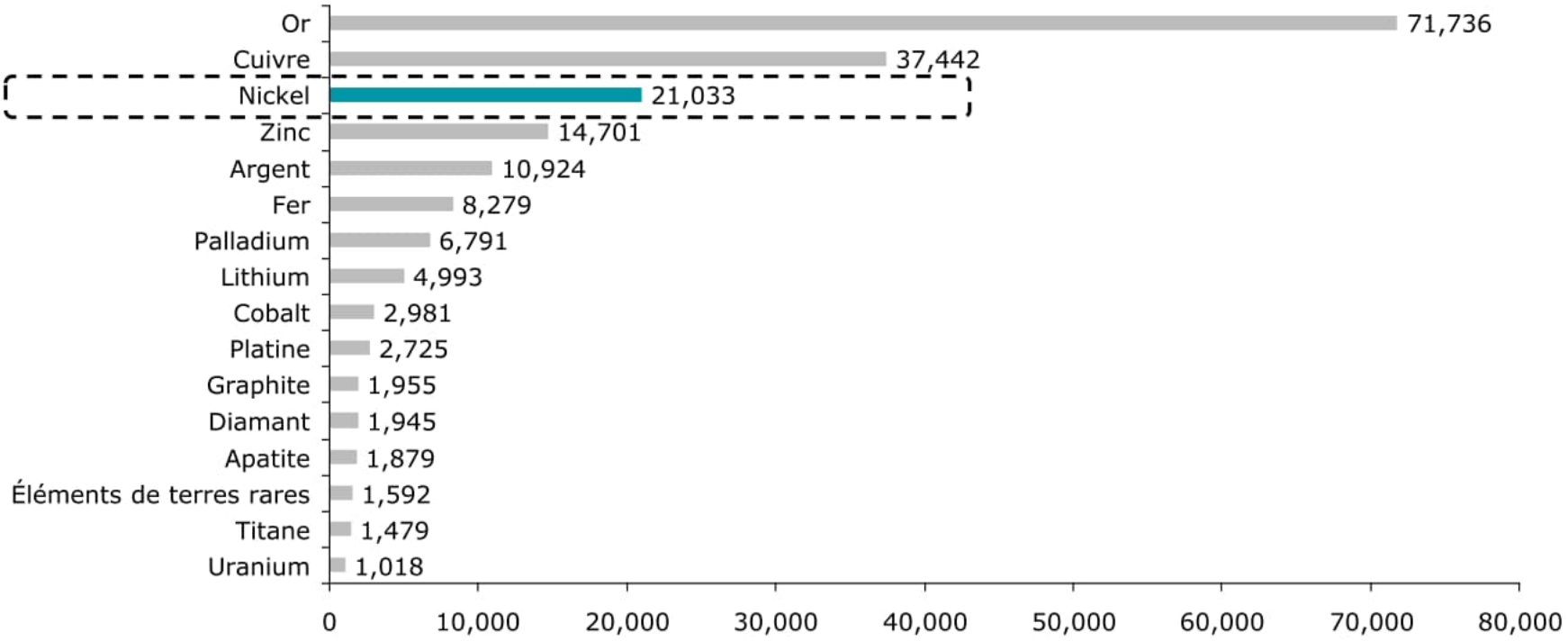
	Projets actuels		Projets à venir	
	Glencore – Phase I	**Canadian Royalties**	**Glencore – Phase II**	**RNC Minerals**
Année de mise en exploitation	1997	2013	2021E	Phase I: 2022E Phase II: 2025E
Durée de vie	23 ans (Réduction de la production dès 2020)	15 ans	15 ans	33 ans
Production annuelle de nickel (équivalent)	40 kt	10 kt	40 kt	Phase I: 30 kt Phase II: 55 kt
Impact sur la production canadienne	Ensemble, les projets de Glencore (Mine Raglan) et Canadian Royalties (Nunavik nickel) produisent environ 50 000 tonnes de nickel, soit environ 25% de la production canadienne. **Répartition de la production minière canadienne de nickel**  		Cette phase II de la mine Raglan permettra de prolonger la durée de vie de la mine sans augmentation de production, permettant ainsi au Québec de maintenir sa production d'environ 50 000 tonnes par année.	Le projet Dumont (phase II) aurait pour impact de plus que **doubler la production québécoise actuelle de nickel,** ce qui amènerait le Québec au 1er rang national et le Canada au 2e rang mondial, toute chose étant égale par ailleurs.

Sources: MERN, «Fiche résumée - transformation nickel», 2018; Entrevues et documents corporatifs des sociétés minières de nickel du Québec

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Avec la taille de la fenêtre d'opportunités qui semble se tracer sur la scène mondiale, d'autres projets pourraient voir le jour; le nickel compte parmi les substances minérales les plus recherchées

Substances minérales recherchées selon le nombre de claims, 2016[1]



En 2016, le nickel faisait l'objet de plus de 21 000 claims au Québec, en faisant ainsi la 3e substance minérale la plus recherchée. Par contre, le financement du projet pourrait être plus difficile à recueillir considérant les impacts et risques potentiels liés à une norme nickel plus contraignante qu'ailleurs dans le monde.

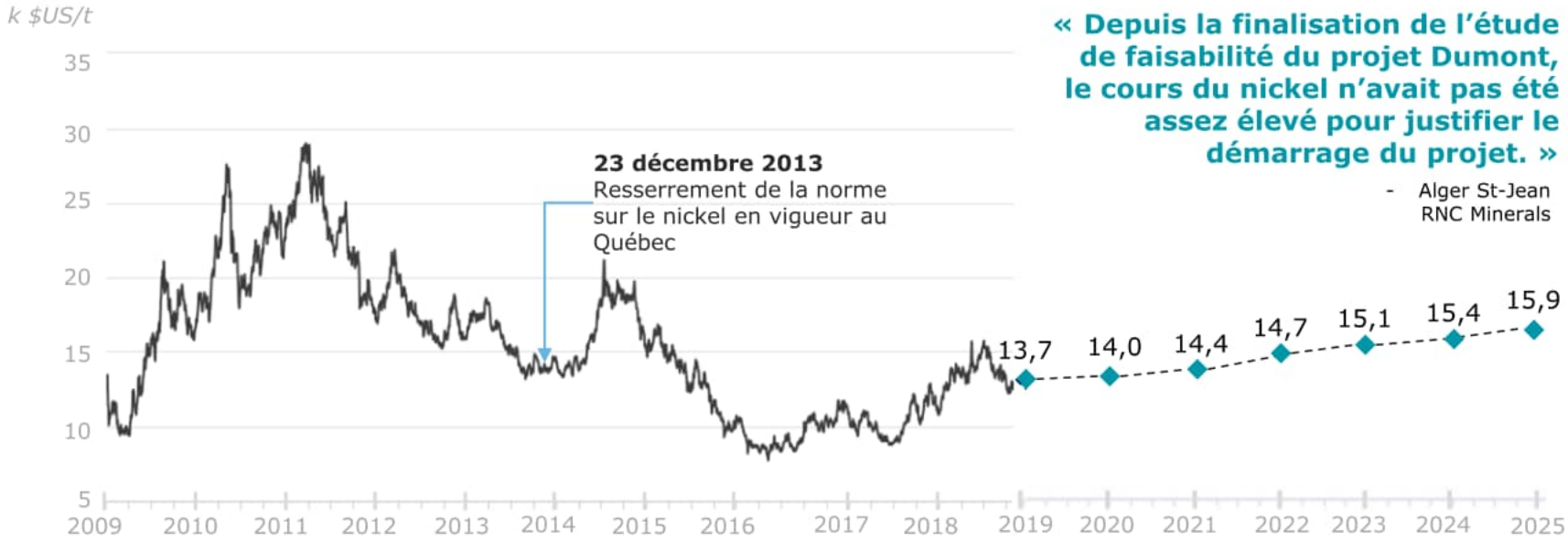
Note. 1. Le claim est le seul titre minier d'exploration qui peut être délivré pour la recherche des substances minérales du domaine de l'État. Le titulaire d'un claim a le droit exclusif de chercher, pour une période donnée, sur le terrain qui en fait l'objet, toutes les substances minérales qui font partie du domaine de l'État sauf exception. Le claim permet aussi de chercher les substances minérales du domaine de l'État dans les résidus miniers situés sur les terres du domaine de l'État. Il est à noter que plus d'une substance minérale peut être recherchée en vertu d'un claim.

Source: MERN, «Rapport sur les activités minières au Québec 2016», 2017.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Soulignons que c'est la première fois depuis le resserrement de la norme en 2013 que le prix mondial du nickel permet d'envisager le démarrage de nouveaux projets au Québec

Évolution du prix du nickel passée – janvier 2009 au 30 septembre 2018 – et prévisionnelle 2019 à 2025



En parallèle au resserrement de la norme nickel, différents se sont produits sur la scène mondiale qui ont causé de grandes fluctuations du prix du nickel, atteignant en 2016 un prix plancher comparable à celui de la crise financière de 2008 et ne permettant pas d'envisager le démarrage de nouveaux projets, d'autant moins au Québec considérant les coûts de production du nickel qui sont élevés comparativement à la majorité des pays producteurs. Depuis la mi-2017, le prix suit une trajectoire à la hausse qui devrait se poursuivre d'ici 2025 selon le Groupe de la Banque mondiale, favorisant ainsi le démarrage de nouveaux projets au Québec.

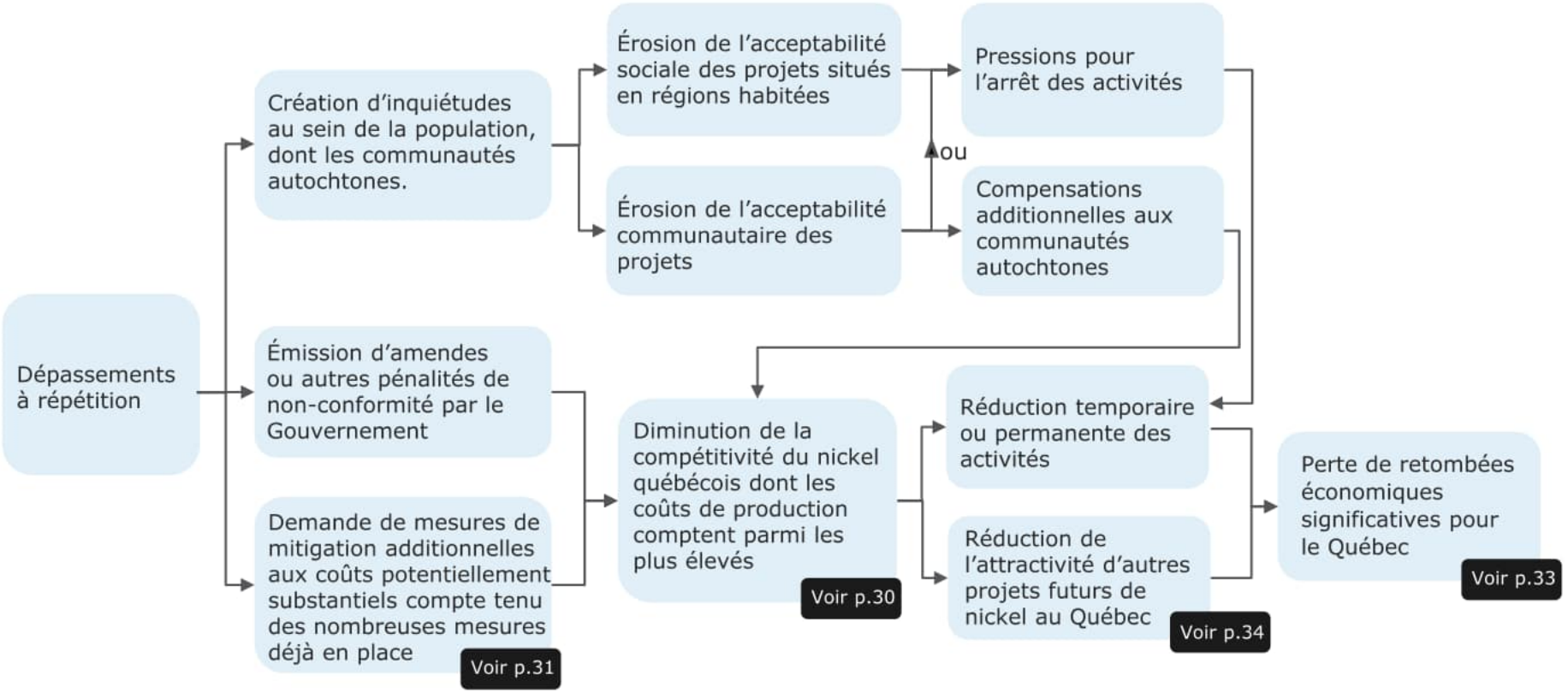
Sources: Entrevues; London Metal Exchange, «LME Nickel historical price graph«, Oct.2018; «Le Groupe de la Banque mondiale, «World Bank Commodities Price Forecast», Oct. 2018;

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les impacts potentiels de la norme nickel en vigueur au Québec

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

La norme nickel actuelle pourrait remettre en cause l'acceptabilité sociale des projets, nuire à leur compétitivité et mettre à risque des retombées économiques significatives pour le Québec

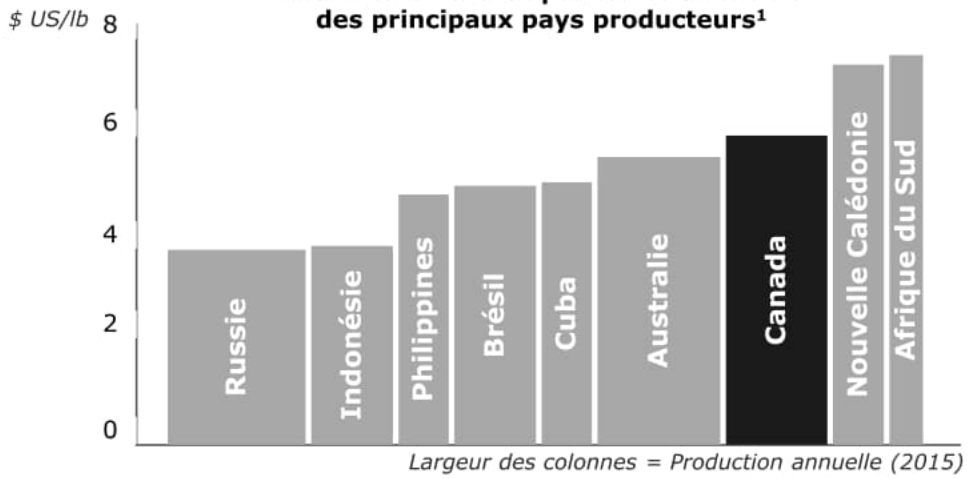


Le niveau prévisionnel d'impact de la norme sur les retombées économiques est tributaire de plusieurs facteurs imprévisibles tels le nombre de dépassements, le niveau d'amendes et de nouvelles exigences en termes de mesures mitigation, le niveau de perception de risque par les communautés avoisinantes, etc. Ainsi, bien que les investissements initiaux liés aux projets pourraient aller de l'avant, le niveau et la récurrence des injections annuelles et des retombées qui en découlent ne sont pas assurés sur la durée de vie desdits projets compte tenu des impacts réputationnels et monétaires potentiels attribuables au cadre réglementaire, dont une norme nickel plus sévère qu'ailleurs dans le monde. Le niveau d'attractivité du Québec pour de nouveaux projets miniers liés au nickel afin de saisir au maximum l'opportunité mondiale s'en trouvera également potentiellement réduit.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

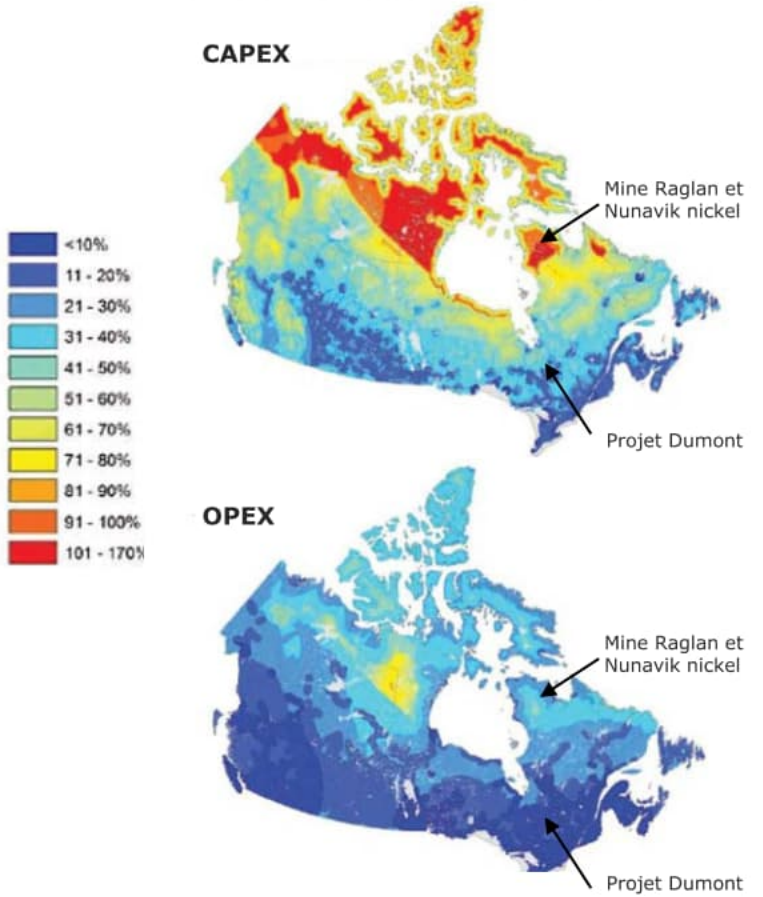
Le Canada compte parmi les coûts de production de nickel les plus élevés et l'exploitation minière dans le Nord-du-Québec implique des coûts supplémentaires

Indicateur du coût par tonne de nickel des principaux pays producteurs[1]



- Les coûts d'opération des minières de nickel du Canada comptent parmi les plus élevés et il convient de souligner que les mines qui exercent dans le Nord-du-Québec font face à des coûts en capital supplémentaires de l'ordre de 80% à 100% plus élevés[2], en plus de coûts d'opération de 20% à 30% plus élevés[2].
- **La norme nickel expose les entreprises à des amendes/ pénalités financières pour non-conformité, à une réouverture des ententes sur les répercussions et les avantages avec les communautés autochtones, à des exigences de mesures de mitigation additionnelles, etc., ce qui pourrait accroître encore plus les coûts de production du nickel québécois, rendant ce dernier moins attractif, voire même non compétitif.**

Impact de la situation géographique sur la hausse des coûts d'une mine[2]



Notes: 1. Les coûts présentés incluent le traitement et l'affinage du nickel. Glencore effectue le traitement de son minerai à Sudbury et l'affinage est réalisé par une fonderie d'Europe. Canadian Royalties exporte directement son concentré en Europe. Ils permettent toutefois d'obtenir un indicateur du positionnement mondial du Canada et du Québec. **2.** basé sur un scénario de 1,75 M tpa de métal de base (non rare)

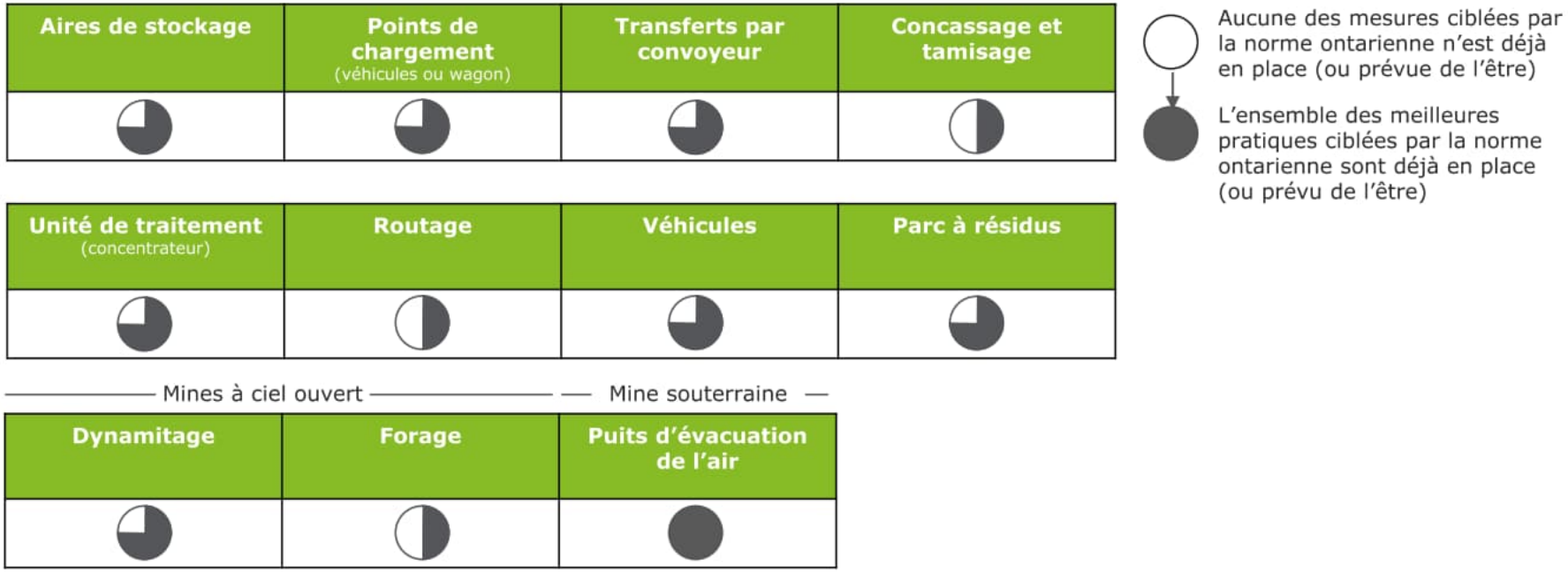
Sources: SNL Metals and Mining, «The Cost Competitiveness of Mining Operations in the European Union», 2016; Prospectors & Developers Association of Canada (PDAC) & MinEx Consulting, « Unlocking northern resource potential: the role of Infrastructure», 2016; Entrevues avec les minières de nickel du Québec.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Les mesures de mitigation additionnelles qui pourraient être exigées en cas de dépassements pourraient s'avérer coûteuses compte tenu que des nombreuses mesures déjà en place

Le Ministère de l'Environnement, de la Protection de la nature et des Parcs de l'Ontario (anciennement MOECC) a publié en mars 2018 une norme sectorielle pour les sites d'exploitation minière applicable notamment à l'industrie minière du nickel-cuivre. Cette norme fournit un éventail prescriptif d'exigences quant au contrôle de la pollution de l'air et de meilleures pratiques relatives aux sources clés qui contribuent le plus aux concentrations hors site de substances toxiques, dont les particules de nickel.

Suite à une consultation auprès des sociétés minières de nickel du Québec (Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals), il appert qu'elles répondent déjà à plusieurs des bonnes pratiques inventoriées avant même d'avoir mis en place des mesures d'atténuation en lien avec le resserrement de la norme nickel au Québec.



Le détail des différentes mesures déployées se retrouve à l'Annexe I.

Sources: Questionnaires remplis par des représentants de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals, basés sur la norme sectorielle du MOECC

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Les impacts réputationnels et monétaires liés à une norme nickel trop contraignante mettent à risque des injections majeures soutenues dans l'économie du Québec et de ses régions

Investissements en capital, cumulatif sur huit ans

	Injection totale		
	Masse salariale (incluant entrepreneurs miniers)	Achats de biens et services	Total
Total	-	**2,92 G $**	2,92 G $
Au Québec	-	**1,34 G$**	1,34 G$

Dépenses d'exploitation, moyenne annuelle

	Injection **au Québec**		
Activités	Masse salariale (incluant entrepreneurs miniers)	Achats de biens et services	Total
A. Exploitation actuelle (2017)[1]	209,8 M$	313,5 M$	523,4 M$
B. Opérations futures	353,2 M$	631,6 M$	984,9 M$
C. Différentiel (B-A)	143,4 M$ *(+70%)*	318,1 M$ *(+101%)*	461,5 M$

Les projets de Glencore et RNC Minerals représentent 2,9 G$ d'investissement en capital sur 8 ans, dont 1,4 G$ qui serait injecté au Québec.

Leur réalisation **amènerait les dépenses d'exploitation annuelles moyennes au Québec à doubler**, passant d'un peu plus de 500 M$ à près de 1 G$ par année, soit plus de 140 M$ additionnels de masse salariale par année et près de 320 M$ additionnels d'achats de biens et services par année.

Bien que les entreprises (Glencore et RNC Minerals) semblent vouloir aller de l'avant avec leur projet d'investissement, il n'est pas garanti que les dépenses d'exploitation annuelles prévues seront injectées sur l'ensemble de la durée de vie prévue des projets. En effet, **les impacts réputationnels et monétaires liés à une norme trop contraignante mettent à risque des injections soutenues.**

Sources: Analyses Deloitte basées sur les données recueillies de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals traitées via le modèle intersectoriel de l'Institut de la statistique du Québec

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

À chaque année d'opération perturbée, c'est en moyenne 1600 emplois, 310 M$ de PIB et 57 M$ de revenus fiscaux qui sont à risque

Impacts liés aux dépenses d'exploitation, moyenne annuelle

	Emplois (ETC)		PIB	Revenus Gouv. QC
	Directs	Directs et indirects	Direct et indirect	Directs et indirects
A. Exploitation actuelle (2017)[1]	1 954	2 957	340,2 M$	72,3 M$
B. Opérations futures	2 531	4 560	651,3 M$	129,3 M$
C. Différentiel (B-A)	577	1 607	311,1 M$	57,0 M$

Impacts liés aux dépenses d'immobilisation

	Emplois (ETC)		PIB	Revenus Gouv. QC
	Directs	Directs et indirects	Direct et indirect	Directs et indirects
Cumulatif sur 8 ans	4 705*	7 294*	966,4 M$	134,8 M$
Moyenne annuelle pendant 8 ans	588	911	120,8 M$	16,9 M$
Total pendant les huit premières années	1165	2 518	431,9 M$	73,9 M$

Les injections additionnelles liées aux projets de Glencore et de RNC Minerals créeraient environ 1600 emplois (ETC) directs et indirects additionnels récurrents, auxquels s'ajouteraient, en moyenne, 911 emplois pendant les 8 premières années en lien avec les activités de construction et d'expansion.

À cela s'ajouteraient 310 M$ de PIB annuel additionnel récurrent et 120 M$ additionnels pendant ces mêmes huit premières années.

Finalement, ce sont 57 M$ de revenus fiscaux annuels additionnels récurrents qui seraient versés au Gouvernement du Québec, en plus des 16,9 M$ en moyenne par année pendant les huit premières années.

Si les projets sont ralentis ou arrêtés en cours de route, par pression sociétale ou par non-compétitivité de coût du nickel québécois, ce sont des répercussions économiques significatives qui seront perdues pour le Québec.

* années-personnes

Sources: Analyses Deloitte basées sur les données recueillies de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals traitées via le modèle intersectoriel de l'Institut de la statistique du Québec

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Une norme nickel plus contraignante qu'ailleurs dans le monde et dans le reste du Canada pourrait mettre à risque l'attractivité du Québec par rapport à différentes alternatives (p.ex. Australie, Ontario, T-N-L)

Classement des principaux pays et provinces canadiennes producteurs de nickel[1]
(91 juridictions évaluées; #1 étant perçu comme le meilleur résultat)

Selon le niveau d'attractivité d'investissements miniers[2]		Selon le potentiel minéral[2]		Selon les aspects politiques[2] (incl. aspects réglementaires)		Selon les aspects réglementaires[2,3]	
Australie[3]	**#5**	**Indonésie**	**#1**	**Québec**	**#9**	**T-N-L**	**#8**
Québec	**#6**	**Australie[3]**	**#4**	**T-N-L**	**#10**	**Québec**	**#12**
Ontario	**#7**	**Ontario**	**#9**	**Australie[3]**	**#17**	**Australie[3]**	**#13**
T-N-L	**#11**	**Québec**	**#10**	**Ontario**	**#20**	**Manitoba**	**#23**
Manitoba	**#18**	**T-N-L**	**#18**	**Manitoba**	**#27**	**Ontario**	**#33**
Russie	**#34**	**Afrique du Sud**	**#20**	**Russie**	**#61**	**Russie**	**#39**
Indonésie	**#36**	**Russie**	**#27**	**Brésil**	**#67**	**Brésil**	**#69**
Afrique du Sud	**#50**	**Manitoba**	**#28**	**Afrique du Sud**	**#81**	**Indonésie**	**#74**
Philippines	**#75**	**Philippines**	**#48**	**Indonésie**	**#84**	**Afrique du Sud**	**#75**
Brésil	**#67**	**Brésil**	**#59**	**Philippines**	**#85**	**Philippines**	**#84**

Selon les résultats du sondage annuel de l'Institut Fraser, le Québec est reconnu parmi le top 10 mondial en termes de potentiel minéral. Il est toutefois devancé dans ce classement par certains producteurs majeurs de nickel tels l'Indonésie et l'Australie ainsi que par l'Ontario, principale province canadienne en termes de production de nickel. Le Québec s'est jusqu'ici démarqué des alternatives pour sa stabilité sur le plan des aspects politiques, dont les aspects réglementaires sont un élément clé. La norme sur le nickel en vigueur s'avère toutefois la plus sévère des pays producteurs de nickel, pourrait réduire la perception favorable du Québec pour son attractivité d'investissements miniers liés du nickel. D'autres juridictions dont l'Australie, l'Ontario et Terre-Neuve-Labrador pourraient alors être privilégiées pour saisir l'opportunité mondiale du nickel, captant ainsi des retombées économiques importantes qui auraient pu se réaliser au Québec[5].

Notes: 1. Excl. la Nouvelle-Calédonie (données non disponibles); **2.** Tous minerais confondus; **3.** Classement de l'Australie de l'Ouest, principale région d'exploitation minière de nickel en Australie; **4.** Moyenne des classements pour les 3 critères réglementaires: 1) Incertitude en lien avec la réglementation environnementale (p.ex. instabilité réglementaire, délais procéduraux, règlements non basés sur la science, etc.); 2) duplications ou incohérences réglementaires (provincial vs fédéral, chevauchements interdépartementaux, contradictions entre règlements, etc.); 3) incertitude en lien avec l'administration, l'interprétation ou l'application réglementaire; **5.** Difficile à chiffrer compte tenu de la nature variée des projets potentiels (ciel ouvert ou sous-terrain, Nord-du-Québec vs dans le reste de la province, etc.) et des implications sur les dépenses d'immobilisation et d'exploitation.
Sources: Fraser Institute, «Annual Survey of Mining Companies: 2017», 2018; SNL Metals and Mining, «The Cost Competitiveness of Mining Operations in the European Union», 2016

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Constats clés de l’étude

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Constats clés de l'étude

1. La production minière de nickel, avec des injections annuelles de plus de 500 M$ dans l'économie québécoise, contribue à plus de 2900 emplois (ETC) directs et indirects, à 340 M$ de PIB annuel et à 72 M$ de revenus fiscaux et parafiscaux annuels pour le Gouvernement du Québec. Bien que la production soit actuellement située à 100% dans le Nord-du-Québec, c'est l'ensemble des régions du Québec qui tirent profit de ses retombées économiques. En effet, les deux minières de nickel de nickel ont recours à une main-d'œuvre et des fournisseurs (1000+) provenant des 17 régions administratives du Québec.

2. L'Entente Raglan, première entente sur les répercussions et les avantages (ERA) à être signée avec un groupe autochtone pour un projet minier au Canada, a pavé le chemin à des relations durables avec ces derniers. Plus de 20 ans après la signature de cette entente (1995), ce sont environ 22% des dépenses d'exploitation et 17% des emplois directs des sites miniers (excluant les entrepreneurs) qui sont octroyés à des groupes autochtones. À cela s'ajoutent entre autres des montants de partage de profit et certains éléments «in kind».

3. Une opportunité pour de nouveaux projets miniers de nickel semble se dessiner sur la scène mondiale alors que l'offre surpasse la demande depuis deux ans déjà, que la demande est prévue de croître largement, notamment en raison des anticipations de croissance du marché des batteries et que le prix du nickel prix suit une trajectoire à la hausse depuis la mi-2017 qui est anticipée de se poursuivre au cours des prochaines années.

4. Le projet d'allongement de la durée de vie de la mine Raglan et le projet Dumont (phase II) doubleraient la production québécoise de nickel. Compte tenu de la taille de la fenêtre d'opportunités qui semble se tracer sur la scène mondiale, d'autres projets pourraient tout de même voir le jour. D'ailleurs le nickel constitue la 3^{e} substance minérale la plus recherchée au Québec.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Constats clés de l'étude

5 La combinaison des exigences quant au seuil et à la fréquence de mesure de la norme nickel du Québec expose les sociétés minières de nickel à des dépassements à répétition. La publication de ces résultats pourrait susciter des inquiétudes au sein des populations environnantes et des communautés autochtones et même remettre en cause l'acceptabilité sociale des projets. Les communautés pourraient demander une réouverture de leur entente de répercussions et avantages afin d'être compensées pour cette perception de risque pour leur milieu et leur santé et les résidents autour des nouveaux sites miniers pourraient aller jusqu'à émettre des pressions pour la cessation des activités des mines ou du moins pour des investissements potentiellement substantiels en mesures de mitigation additionnelles.

6 Cette même situation de potentiels dépassements constants de la valeur limite exigée par la norme peut entraîner des amendes/ pénalités pour non-conformité seront potentiellement émises et des mesures de mitigation additionnelles pourraient être exigées. Dans un contexte où les minières du Canada (et particulièrement celle du Nord-du-Québec) ont des coûts de production parmi les plus élevés des producteurs mondiaux de nickel et qu'elles ont déjà déployé de nombreuses mesures de mitigation en conformité à d'autres normes (mais applicables aux principales sources d'émissions de nickel), le nickel québécois en verra sa compétitivité mondiale réduite. Cela pourrait éventuellement amener les sociétés minières à ralentir leurs activités de manière temporaire ou même permanente.

7 Ainsi, même si les investissements initiaux des projets allaient de l'avant, le niveau et la récurrence des retombées annuelles associées aux dépenses d'exploitation et celles en capital récurrent durant la durée de vie de ces derniers sont à risque compte tenu que les projets pourraient être ralentis ou arrêtés en cours de route, par pression sociétale ou par non-compétitivité de coût du nickel québécois. À chaque année d'opération perturbée, c'est en moyenne 1600 emplois (ETC) directs et indirects, 310 M$ de PIB annuel et 57 M$ de revenus fiscaux qui sont à risque.

8 Une norme nickel plus contraignante qu'ailleurs dans le monde et dans le reste du Canada pourrait réduire l'attractivité d'investissements additionnels au Québec dans le secteur du nickel alors que le contexte mondial semble propice au développement de nouveaux projets. L'Ontario, Terre-Neuve-et-Labrador et l'Australie pourraient notamment constituer des alternatives potentielles.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Annexe I –
Regard sur les mesures de mitigation déployées

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Méthodologie et légendes

Il a été demandé aux minières d'indiquer, pour chaque mesure de mitigation, si celle-ci était déployée (ou prévue de l'être dans le cas de RNC Minerals) et l'échelle de coût applicable.

Mesures d'atténuation et descriptifs
publiés par le Ministère de l'Environnement, de la Protection de la nature et des Parcs de l'Ontario (anciennement MOECC) dans sa norme sectorielle pour les sites d'exploitation minière applicable notamment à l'industrie minière du nickel-cuivre.

Statut quant au déploiement
- Oui, par souci de meilleure pratique (ou de conformité à d'autres normes)
- Oui, mais ce n'est pas la meilleure mesure possible
- Non, car notre solution est meilleure ou plus avantageuse
- Non, mais on pourrait *(en théorie, mais pas toujours viable financièrement)*

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
XXX	• XXX						
Autres / précisions	• ZZZ						

Autres/précisions et statut «?»
Pour chaque catégorie de mesures d'atténuation, un espace pour des commentaires ouverts en lien avec d'autres mesures de mitigation déployées ou des précisions quant aux mesures précédentes a été offert et rempli par certains. Les mesures additionnelles mentionnées par un joueur n'ont toutefois pas été validées auprès des autres, d'où le statut «?» pour ces mesures.

Par respect de notre entente d'anonymat des données propres à chaque minière, les résultats ont été consolidés et le nombre de minières pour chaque statut est présenté.

$	< 500 000 $
$$	500 000 $ à 2 M$
$$$	2 à 5 M$
$$$$	5 à 10 M$
$$$$$	10 à 25 M$
$$$$$$	> 25 M$

L'approche utilisée permet d'avoir un aperçu de plusieurs des mesures de mitigation déployées. Par contre, développer un questionnaire plus adapté à la réalité terrain des mines (différentes aires de stockage (haldes, silos à minerai, entrepôt de concentré…), des convoyeurs et points de transferts à différents moments du processus minéral, différents types de véhicules pour le transport de roche stérile vs de concentré, etc. permettrait d'avoir une vue plus complète.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les mesures de mitigation déployées

Activités de manutention (1 de 2)

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Points de transfert / chargement d'un véhicule ou wagon							
Bâtiment fermé	• Chargement du véhicule ou wagon dans un bâtiment fermé (entrepôt, dôme ou autre)	**2x**	-	-	1x		$$$$
Système de captage et dépoussiéreur	• Aspiration et captation des poussières autour de l'aire de chargement par un filtre à manche ou un épurateur humide.	**3x**	-	-	-		$
Rideau de contrôle des projections de poussières	• Installation d'un rideau entourant l'aire de chute du matériel (applicable lorsque le chargement se fait à l'extérieur d'un bâtiment).	-	-	3x	-		$
Arrosage du matériel	• Installation d'un dispositif d'arrosage d'eau humectant le matériel suffisamment pour prévenir les émissions de poussières.	-	-	-	-		$
Autres / précisions	• Nettoyage et arrosage régulier des zones de [dé]chargement	-	**1x**	-	-	2x	$
	• Concentré sous une forme humide, limitant ainsi la volatilité des poussières lors du transbordement	-	**2x**	1x	-	-	Difficile à chiffrer
Transfert par convoyeur							
Bâtiment fermé	• Transfert du matériel sur un convoyeur dans un bâtiment fermé (entrepôt, dôme ou autre).	**2x**	-	-	1x		$$$
Protection latérale	• Le convoyeur est muni d'un couvercle ou d'un rideau atténuant la projection de poussières. ***Convoyeur hermétique***	**3x**	-	-	-		$$$
Arrosage du matériel	• Installation d'un dispositif d'arrosage d'eau humectant le matériel suffisamment pour prévenir les émissions de poussières. L'arrosage n'est pas requis par temps froid afin de prévenir les problèmes de gel.	-	-	3x	-		$
Autres	• Aucune autre mesure n'a été soulevée						

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les mesures de mitigation déployées
Activités de manutention (2 de 2)

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Concassage et tamisage							
Bâtiment fermé	• Les activités de concassage et de tamisage sont réalisés à l'intérieur d'un bâtiment fermé.	**1x**	-	-	2x		$$$$
Dépoussiéreur	• Un filtre à manche est installé afin de capter les poussières générées par le concassage et le tamisage.	**3x**	-	-	-		$
Arrosage du matériel	• Installation d'un dispositif d'arrosage d'eau humectant le minerai extrait ou le résidu minier. L'arrosage n'est pas requis par temps froid afin de prévenir les problèmes de gel.**	-	**1x**	2x	-		$
Pare-vent	• Érection d'un dispositif naturel (talus, arbres) ou artificiel (clôture, mur) perturbant l'impact du vent autour de l'aire de concassage et/ou de tamisage.	-	-	2x	1x		$$
Autres / précisions	• Arrosage de la base des équipements durant la période estivale et installation de bâches durant l'hiver.	-	**1x**	-	-	2x	$
Précisions applicables							
Autres / précisions	** Arrosages ciblés sur les activités qui contribuent le plus aux émissions comme le halage et employés au moment où ils sont requis (ex. période chaude avec plusieurs jours consécutifs sans précipitation...), non pas arrosage de tout le matériel à intervalles de temps prédéterminés	-	**1x**	2x	-		$

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les mesures de mitigation déployées

Unité de traitement du minerai

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Bâtiment fermé	• Opération à l'intérieur d'un bâtiment fermé (entrepôt, dôme ou autre);	3x	-	-	-		$$$$
Dépoussiéreur	• Un filtre à manche ou un épurateur humide est installé afin de capter les poussières générées par les unités de concassage, tamisage et séchage.	3x	-	-	-		$
Système de ventilation	• Le bâtiment est relié à un système de ventilation local vers l'extérieur.	2x	-	-	1x		$$
Autres	• Aucune autre mesure n'a été soulevée						

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Les mesures de mitigation déployées

Aires d'entreposage

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Bâtiment fermé	• Stockage du matériel dans un silo, entrepôt, dôme fermé ou tout autre abri fermé.	**3x**	-	-	-		$$$$$
Bâtiment partiellement fermé	• Stockage du matériel sous une structure comportant trois murs et un toit (p.ex. demi-dôme).	-	-	3x	-		-
Humectage des surfaces	• Humectage des surfaces avec de l'eau ou un agent liant la poussière à l'aide d'un système d'arrosage adapté (ex. gicleurs rotatifs); • Maintien d'un registre des périodes d'arrosage incluant les quantités d'eau utilisées par secteur; • Contrôle et vérification du niveau d'humidité dans le matériel; • Implémentation d'un programme de suivi des conditions météorologiques sur le site permettant de circonscrire les périodes d'arrosage.	-	-	3x	-		-
Brise-vent	• Érection d'un dispositif perturbant l'impact du vent sur l'aire de stockage, incluant les talus naturels et artificiels, la présence ou plantation d'arbres en amont des vents dominants, et l'installation de clôtures.	-	-	3x	-		-
Pare-vent	• Érection d'un pare-vent comportant trois murs autour de l'aire de stockage. La hauteur maximale du matériel stocké doit être inférieure à la hauteur des murs.	-	-	3x	-		-
Optimisation de l'aire de stockage et des travaux afférents	• Gestion de l'aire de stockage afin que l'axe longitudinale des piles soit parallèle à la direction du vent dominant du secteur; • Limitation du nombre de piles permettant de réduire le ratio surface érodable / volume de matériel; • Minimiser la perturbation des surfaces.	-	-	3x	-		-
Autres / précisions	• Silos de stockage du minerai équipés de dépoussiéreurs	**1x**	-	-	-	2x	$

À noter qu'une division du questionnaire par type d'aire de stockage (p.ex. haldes, silos à minerais, silo pour le concentré, etc.) serait souhaitable à l'avenir. Les répondants semblent s'en être tenu au volet du concentré, mais leur réponse aurait peut-être été différente avec un questionnaire de plus grand niveau de granularité.

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les mesures de mitigation déployées
Parc à résidus

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Bassin de sédimentation	• Submersion des résidus miniers dans des bassins aménagés à cet effet.	**2x**	-	1x	-		$$$
Recouvrement de la surface	• Recouvrement de la surface du parc de résidus d'un matériel permettant de limiter l'érosion éolienne : revégétalisation, l'épandagede paillis, liant chimique, biosolides (compost, terre végétale) ou lait de chaux, ou recouvrement par des bâches.	**3x**	-	-	-		$$$
Épandage d'un liant chimique	• Épandage d'un liant chimique (p.ex. émulsion de bitume) au moins une fois par année entre le 1er aout et 1er novembre, à moins que les résidus ne soient submergés, revégétalisés ou recouverts d'une bâche.	-	-	3x	-		-
Autres / précisions	• Un recouvrement de la surface du parc à résidus est prévu en phase de restauration. Pendant, l'exploitation, les résidus sont déposés sous forme de boue, ce qui limite leur volatilité dans l'air.	**2x**	-	-	-	1x	-
	• Mise en place d'un programme d'inspection du parc à résidus afin de s'assurer que l'humidité et/ou la cimentation des résidus est efficace pour contrôler l'érosion éolienne.	**1x**	-	-	-	2x	$$

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les mesures de mitigation déployées
Routage

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Asphaltage	• Revêtement de la route d'une couche d'asphalte ou de béton.	-	-	-	3x		$$$$$$
Nettoyage des routes pavées	• Nettoyage de la route avec un camion aspirateur ou un camion laveur à une fréquence égale ou supérieure au minimum établi dans le Guide des meilleures pratiques de l'exploitant et exigé par la norme.	-	-	3x	-		-
Gestion des routes non pavés	• Épandage d'eau ou d'un dépoussiérant chimique à une fréquence égale ou supérieure au minimum établi dans le Guide des meilleures pratiques de l'exploitant et exigé par la norme, compactage et nivelage d'un agrégat sur la route à une fréquence établie par le Guide, etc.	-	**3x**	-	-		$$
Signalisation adéquate	• Identification de la vitesse maximale acceptée sur des panneaux	**1x**	-	1x	1x		$
Autres / précisions	• Utilisation d'abats-poussières	-	**1x**	-	-	2x	$$
	• Arrêt des activités dans un secteur donné en cas de tendance vers un dépassement des normes	**1x**	-	-	-	2x	Difficile à chiffrer

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les mesures de mitigation déployées
Véhicules

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Recouvrement du matériel transporté	• Le matériel transporté par le véhicule doit être couvert lors du transport (p.ex. bâche amovible).	-	-	3x	-		$
Humectage	• Le matériel transporté doit être suffisamment humide pour prévenir les rejets de poussière.	-	-	3x	-		$$
Sous-remplissage	• Le matériel ne doit pas dépasser le niveau supérieur de la benne du véhicule.	-	-	3x	-		Difficile à chiffrer
Autres	• Utilisation de camions-citernes hermétiques et de camions à benne étanche	**2x**	-	-	-	1x	$$$
	• Réduction de la vitesse des véhicules sur certains segments de route en période estivale	**1x**	-	-	-	2x	$
	• Réduction des activités de transport de roche stérile lorsque le suivi en continu de la qualité de l'air indiquera une tendance probable vers un dépassement des normes.	**1x**	-	-	-	2x	Difficile à chiffrer

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les mesures de mitigation déployées

Dynamitage et forage (mines à ciel ouvert)

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Dynamitage							
Tapis de dynamitage	• Recouvrement de la surface par un tapis de dynamitage (pare-éclats) adapté	**1x**	-	-	1x		$
Planification selon les prévisions météorologiques	• Dynamitage réalisé seulement lorsque les prévisions météorologiques indiquent que la vitesse de vent maximum prévue sera inférieure au seuil limite maximum alloué	**1x**	-	1x	-		Difficile à chiffrer
Autres	• Angle de restriction pour les sautages en fonction des directions du vent et report des sautages lorsque le vent souffle en direction des récepteurs sensibles à proximité	**1x**	-	-	-	1x	$$$$
	• Mise en œuvre d'un plan de gestion des sautages incluant plusieurs mesures visant à prévenir la formation de NOx lors des sautages, le séquençage des détonations, la disposition des trous de sautage, les charges d'explosif, les conditions de vents susceptibles de représenter davantage de risques pour la population, la prise en compte du délai entre le chargement des trous et la détonation en fonction des conditions météorologiques (p. ex. une pluie), etc.	**1x**	-	-	-	1x	$$$
Forage							
Suppression humide	• Introduction d'un jet d'eau pulvérisée dans le fond du puits absorbant les poussières directement dans le puits avant leur évacuation.	-	-	1x	1x		n.d.
Dispositif de collecte et de dépoussiérage	• Installation d'une chambre semi-hermétique au-dessus de la foreuse afin de collecter l'air revenant à la surface. L'air collecté est alors dirigé vers un système de dépoussiérage (filtre à manche ou cyclone/multiclone).	**1x**	-	-	1x		$
Autres	• Aucune autre mesure mentionnée						

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Regard sur les mesures de mitigation déployées
Autres

Mesure d'atténuation	Descriptif	Statut					Coût approx. moyen
		●	●	○	○	?	
Disposition des infrastructures et des activités	• L'arrangement du projet et la disposition de différentes infrastructures/activités ont été conçus pour réduire l'impact du vent	2x	-	-	-	1x	Difficile à chiffrer

Source: Consolidation des questionnaires Excel remplis par différents responsables de Glencore, Canadian Royalties et RNC Minerals

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Annexe II –
Détails en lien avec l'étude d'impact économique

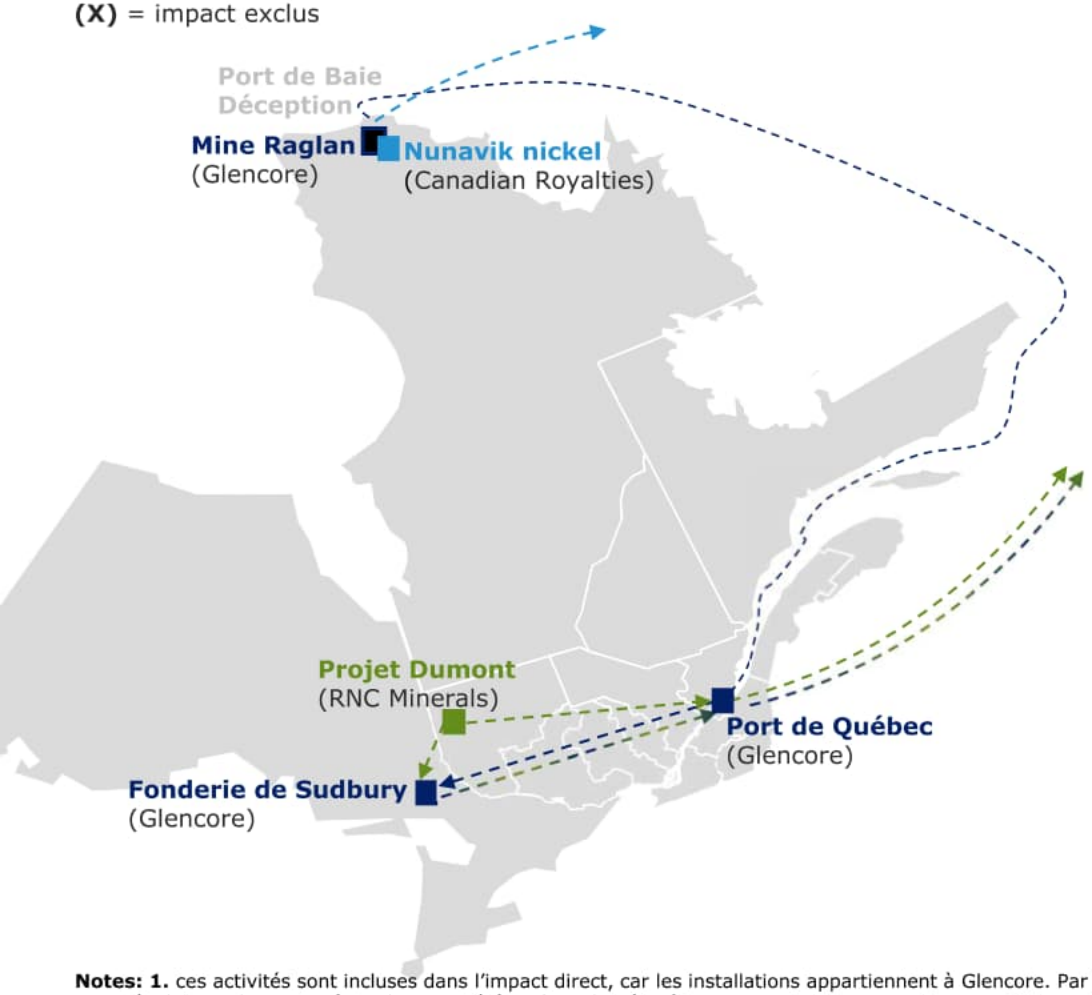
© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Périmètre de l'étude d'impact économique: regard sur le flux de la chaîne logistique

(D) = impact direct

(I) = impact indirect

(X) = impact exclus



Glencore

(D) Activités d'exploitation à la mine Raglan

(D) Transport terrestre jusqu'au Port de Baie Déception

(D) Activités de manutention au Port de Baie Déception

(I) Transport maritime jusqu'au Port de Québec

(D-I) Activités de manutention au Port de Québec[1]

(I) Transport ferroviaire vers la fonderie de Sudbury

(X) Transformation à Sudbury[2]

(X) Transport ferroviaire vers le Port du Québec

(D) Activités de manutention au Port de Québec

(I) Transport maritime vers une raffinerie en Norvège

Canadian Royalties

(D) Activités d'exploitation

(D) Transport terrestre jusqu'au Port de Baie Déception

(D) Activités de manutention au Port de Baie Déception

(I) Transport maritime jusqu'à une fonderie en Norvège

RNC Minerals

(D) Activités d'exploitation

(I) Transport ferroviaire jusqu'au Port de Québec

(I) Transport routier + ferroviaire vers Sudbury

Les impacts subséquents reviennent aux mêmes que celles présentées ci-haut pour Glencore et Canadian Royalties

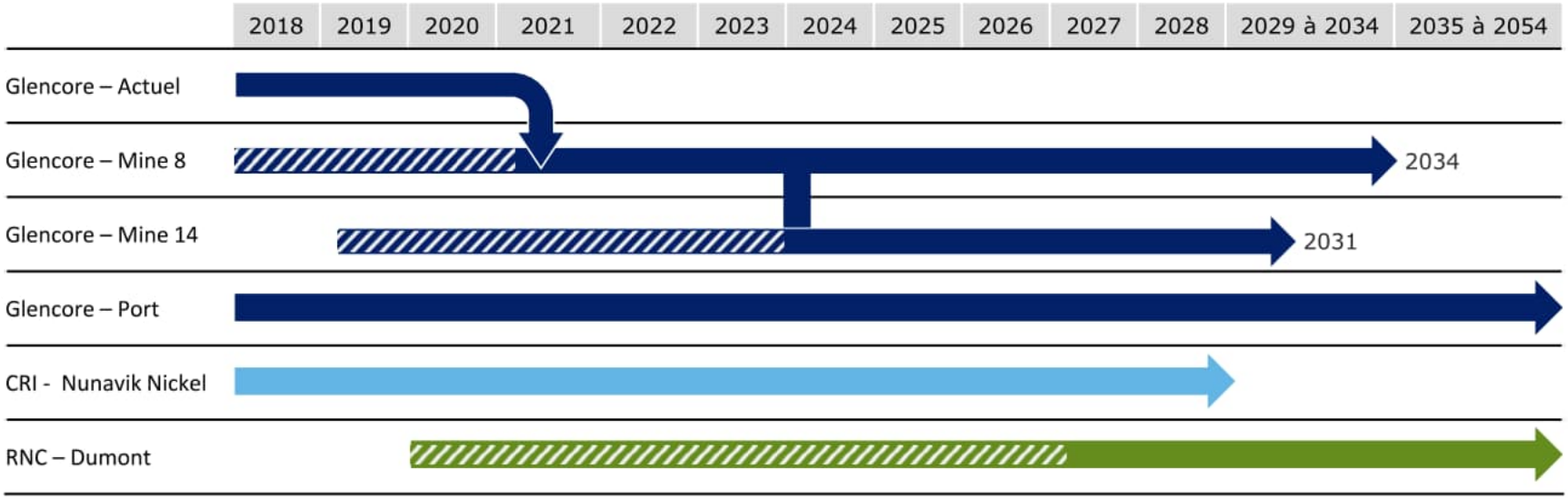
Notes: 1. ces activités sont incluses dans l'impact direct, car les installations appartiennent à Glencore. Par contre, ce sont des contracteurs qui réalisent les activités de manutention; **2.** les activités de transformation à Sudbury ont été exclues du périmètre par souci de conservatisme, mais il convient tout de même de souligner qu'environ 20% du minerai qui y est traité provient de la mine Raglan. 23% des dépenses d'exploitation (masse salariale et achat de B&S) sont réalisées auprès d'individus et d'entreprises québécoises.

Source: entrevues, documents techniques et/ou corporatifs

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Des projets de différents horizons temporels

Période de construction / expansion = périodes d'investissement en capital
Période d'exploitation = périodes de dépenses d'exploitation (incluant capital récurrent)



Il convient de souligner que Canadian Royalties a mentionné son intension de réaliser des projets d'exploration afin d'allonger la durée de vie de son projet.

Source: entrevues, documents techniques et/ou corporatifs

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Injections totales vs au Québec

Données traitées dans le modèle intersectoriel

Dépenses d'exploitation, moyenne annuelle

Activités	Injection totale, M$ (Structure de coûts des entreprises)			Injection au Québec, M$ (Structure de coûts au Québec)		
	Coût de M-O (incluant contracteurs miniers)	Achats de B&S	Total	Coût de M-O (incluant contracteurs miniers)	Achats de B&S	Total
A. Exploitation actuelle (2017)[1]	219,3	426,9	646,2	209,8	313,5	523,4
B. Opérations futures	372,8	1 020,3	1 393,2	353,2	631,6	984,9
C. Différentiel (B-A)	**153,5**	**593,4**	**747,0**	**143,4**	**318,1**	**461,5**

Dépenses d'immobilisation, cumulatif sur huit ans

Activités	Injection totale, M$ (Structure de coûts des entreprises)			Injection au Québec, M$ (Structure de coûts au Québec)		
	Coût de M-O (incluant contracteurs miniers)	Achats de B&S	Total	Coût de M-O (incluant contracteurs miniers)	Achats de B&S	Total
D. Immobilisations futures	-	**2 918,2**	**2 918,2**	-	**1 339,3**	**1 339,3**

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées

Des situations contrastées chez les opérateurs miniers

	Glencore	Canadian Royalties	RNC Minerals
Type de mine	Souterraine	Ciel ouvert	Ciel ouvert
Minerai extrait annuellement	1,5 à 1,65 Mt	1,6 Mt	19 Mt (phase 1) 38 Mt (phase 2)
Concentration de nickel	3%	0,9%	0,3%
Connexion à un réseau routier existant	Non	Non	Oui
Connexion au réseau énergétique	Non	Non	Oui
Modèle d'exploitation	À pleine capacité sur l'ensemble de la durée de vie du projet	À pleine capacité sur l'ensemble de la durée de vie du projet	Une période de production à partir des stocks à basse teneur lorsque les activités d'extraction minière dans la fosse auront cessé

Les moyennes de l'étude d'impact économique sont à interpréter avec prudence considérant la nature hétérogène des sites miniers à l'étude.

Source: entrevues, documents techniques et/ou corporatifs

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées