

TRAMWAY DE QUÉBEC

Modélisation de la dispersion atmosphérique en construction

Environnement

TRAM-0000-ENV-RPT-0000_01



Projet RSTC – Volet Tramway PROJET DE RÉFÉRENCE



22 mai 2020

Rapport définitif

Date : 22 mai 2020

Préparé par :



Bonira Khy, ing.
(Environnement)

Vérifié par :



Élyse Hamel, ing.
(Environnement)



Caroline Hardy, ing.
(Responsable Environnement)

Équipe de réalisation

Bonira Khy, ing. (Environnement) Tram-Innov	Élyse Hamel, ing. (Environnement) Tram-Innov	Caroline Hardy, ing. (Environnement) Tram-Innov
Sylvie Renaud (Édition de documents et Contrôle de qualité) Tram-Innov		

Le présent document s'inscrit dans le cadre du projet de référence du Tramway de Québec. Il est considéré et émis à titre d'étude préparatoire ou d'avant-projet.

Il est à noter que l'élaboration du présent document préparé par Tram-Innov a été réalisé au courant des années 2019 et 2020. Au moment de la préparation de ce document, certaines données d'intrants étaient en évolution et peuvent être devenues obsolètes.

Table des matières

1. Introduction	1
2. Présentation du projet	1
3. Configuration du modèle de dispersion	3
3.1 Modèle	3
3.2 Coefficient de dispersion	3
3.3 Domaine de modélisation et topographie	5
3.4 Récepteurs	6
3.4.1 Grille de récepteurs	6
3.4.2 Récepteurs sensibles	8
4. Données météorologiques	10
5. Scénario de modélisation	12
5.1 Sources modélisées	13
5.1.1 Sources ponctuelles	17
5.1.2 Sources volumiques	18
5.1.3 Sources linéaires volumiques	19
5.2 Mesures d'atténuation	22
6. Effet des bâtiments	23
6.1 Secteur du Jardin	23
6.2 Secteur Brown/Cartier	24
7. Qualité de l'air – Normes, critères et concentrations ambiantes	25
7.1 Normes et critères de la qualité de l'air	25
7.2 Concentration initiale de dioxyde d'azote et d'ozone	25
8. Résultats de modélisation	27
8.1 Analyse des résultats	27
8.1.1 Particules en suspension totales (PST)	27
8.1.2 Particules fines (PM _{2.5})	28
8.1.3 Dioxyde de soufre (SO ₂)	30
8.1.4 Dioxyde d'azote (NO ₂)	31
8.1.5 Monoxyde de carbone (CO)	32
8.1.6 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	33
8.1.7 Particules fines provenant de la combustion de diesel (PM _{2.5D})	34
9. Conclusion	35
10. Bibliographie	36
ANNEXE A	37
ANNEXE B	38

Liste des tableaux

Tableau 3-1 : Catégorie d'usage (<i>Données Québec</i>)	4
Tableau 3-2 : Catégorie d'usage (<i>NLCD 2011</i>)	4
Tableau 3-3 : Paramètres de la grille de récepteurs.....	6
Tableau 3-4 : Récepteurs dans la zone d'étude pour chaque modélisation.....	9
Tableau 4-1 : Stations météorologiques	11
Tableau 5-1 : Comparaison des taux d'émissions pour la source des explosifs.....	14
Tableau 5-2: Paramètres des sources ponctuelles	21
Tableau 5-3: Paramètres des sources volumiques	21
Tableau 5-4: Paramètres des sources volumiques linéaires	21
Tableau 5-5: Taux d'émissions sans atténuations.....	22
Tableau 5-6: Taux d'émissions avec atténuation pour les sources applicables.....	23
Tableau 7-1: Normes, critères et concentrations initiales.....	25
Tableau 7-2 : Concentrations ambiantes utilisées	27
Tableau 8-1 : Résultats de modélisation PST.....	28
Tableau 8-2 : Résultats de modélisation PM _{2.5}	29
Tableau 8-3 : Résultats de modélisation SO ₂	30
Tableau 8-4 : Résultats de modélisation NO ₂	31
Tableau 8-5 : Résultats de modélisation CO	32
Tableau 8-6 : Résultats de modélisation HAP	33
Tableau 8-7 : Résultats de modélisation PM _{2.5D}	34

Liste des figures

Figure 2-1 : Plan d'ensemble du projet	2
Figure 3-1 : Domaine de modélisation et récepteurs.....	5
Figure 3-2 : Topographie du domaine de modélisation	6
Figure 3-3 : Limites des zones de construction - Secteur Brown-Cartier	7
Figure 3-4 : Limites des zones de constructions – Jardin Jean-Paul L'allier.....	8
Figure 3-5 : Récepteurs sensibles	10
Figure 4-1 : Rose des vents générée pour les données météorologiques horaires de 2008-2012.....	11
Figure 5-1 : Chantier Brown-Cartier - Sources linéaires volumiques	14
Figure 5-2 : Chantier Brown-Cartier - Sources volumiques et ponctuelles.....	15
Figure 5-3 : Chantier Jardin Jean-Paul L'Allier - Sources linéaires volumiques.....	16
Figure 5-4 : Chantier Jardin Jean-Paul L'Allier - Sources volumiques et ponctuelles.....	17
Figure 5-5 : Paramètres de la source de camionnage sur route non pavée (extrait d'AERMOD, taux d'émission unitaire).....	20
Figure 6-1 : Bâtiments considérés au secteur du Jardin	23
Figure 6-2 : Bâtiments considérés au secteur Brown/Cartier	24
Figure 7-1 : Station de mesure 3006 - Québec Vieux-Limoilou.....	26

1. Introduction

Afin d'évaluer les impacts sur la qualité de l'air de la phase construction du projet de tramway à Québec, Tram-Innov a été mandatée par la Ville de Québec pour réaliser une étude de dispersion atmosphérique afin de caractériser les concentrations de contaminants dans l'atmosphère autour des chantiers de construction du projet.

Une modélisation de la dispersion atmosphérique permet de déterminer les impacts des travaux de construction sur la qualité de l'air et de déterminer le respect des normes et des critères de la qualité de l'air spécifiés dans le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA). L'apport du projet en contaminants atmosphériques est caractérisé sur un domaine établi selon les standards du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et à des récepteurs spécifiques afin d'analyser les impacts dans les zones sensibles. La modélisation est effectuée pour simuler la dispersion atmosphérique des principaux contaminants émis par les activités qui sont prévues lors de la construction, telles que l'excavation, la manutention et le transport des matériaux. Dans le présent mandat, une seule modélisation est complétée afin de représenter le pire scénario de projet selon la qualité de l'air : une modélisation pour la construction du tunnel pour le tronçon souterrain du tramway.

La méthodologie utilisée pour la modélisation est basée sur le *Guide de modélisation de la dispersion atmosphérique* du MELCC (Leduc, 2005). Les sections de ce rapport permettent de présenter les bases du modèle utilisé pour la dispersion atmosphérique, les résultats de modélisation et les recommandations par rapport à la qualité de l'air en phase construction.

2. Présentation du projet

La modélisation réalisée pour le projet du tramway de Québec est concentrée sur la partie souterraine du tramway, située entre les stations Brown/Cartier et du Jardin Jean-Paul L'Allier. Les deux embouchures du tunnel sont modélisées sur un même domaine de modélisation étant donné qu'elles sont situées relativement proches l'une de l'autre. Le point central du domaine a été déterminé par rapport à la position des deux chantiers et des sources émises. La Figure 2-1 ci-dessous présente le tracé prévu du tramway de Québec. La partie en pointillée représente la partie souterraine du tramway et a été identifiée comme ayant l'impact le plus important sur la qualité de l'air durant la phase de construction étant donné que des explosifs seront utilisés pour creuser le tunnel. La durée prévue des travaux et la quantité de matériaux qui seront excavés et transportés sont les plus importantes sur ce segment.



Figure 2-1 : Plan d'ensemble du projet

FIGURE 2.1

PLAN DU RÉSEAU DE TRANSPORT EN COMMUN

Infrastructure

- Pôle d'échanges
- Terminus
- Station
- Zone de connexions avec le réseau de transport en commun
- Connexion avec le réseau cyclable

Tracé

- Tramway
- Tramway souterrain
- Trambus
- Infrastructure dédiée
- Métrobus

 **RÉSEAU STRUCTURANT DE TRANSPORT EN COMMUN**
BUREAU DE PROJET 

Date : 28 avril 2020
Fichier : RST_TW_EIE_RES_6_7_plan_resseau_transport.mxd
Système de projection cartographique : NAD 83 MTM 7
Source : Ville de Québec, 2020

3. Configuration du modèle de dispersion

Les sections suivantes décrivent la configuration du modèle, incluant les données météorologiques, le domaine de modélisation, les récepteurs et le terrain.

3.1 Modèle

Le modèle de dispersion atmosphérique qui a été utilisé pour le projet est AERMOD (version 19191). AERMOD est un modèle de dispersion reconnu par le MELCC. AERMOD est un modèle en régime permanent qui peut estimer la dispersion des contaminants dans l'atmosphère jusqu'à 50 km du point d'émission. Toutes les options par défaut du modèle ont été considérées. Le mode urbain a été sélectionné.

Les contaminants qui sont inclus dans le modèle sont les suivants :

- Dioxyde d'azote (NO₂);
- Dioxyde de soufre (SO₂);
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP);
- Monoxyde de carbone (CO);
- Particules en suspension totales (PST);
- Particules fines inférieures à 2,5 microns (PM_{2.5});
- Particules fines inférieures à 2,5 microns provenant de la combustion du diesel (PM_{2.5D})

3.2 Coefficient de dispersion

L'option « urbaine » a été choisie comme coefficient de dispersion atmosphérique pour le projet. L'utilisation des sols a été analysée dans un cercle d'un rayon de 3 km, centré sur les deux sites du projet. Cette analyse est basée selon deux références, les données d'utilisation des sols de *Données Québec* et les données NLCD 2011 obtenues dans l'outil de création « Land Use Creator » d'*Aermet View*. Afin de choisir l'option urbaine, 50% et plus de l'utilisation du sol doit être de type industriel, commercial et résidentiel dense (Leduc, 2005). Dans le cas contraire, l'option rurale est choisie. La densité de population peut aussi être un indicateur permettant de choisir une ou l'autre des options. Pour choisir l'option urbaine, la densité de population à l'intérieur du cercle de 3 km de rayon doit être de 750 habitants/km² ou plus.

L'analyse des données de *Données Québec* montre, au Tableau 3-1, que plus de 55% du territoire à l'intérieur du rayon de 3 km est à usage industriel, commercial ou résidentiel dense.

Tableau 3-1 : Catégorie d'usage (Données Québec)

Catégorie d'usage	Superficie (km ²)	Pourcentage (%)
Industrielle ¹	5,0	18%
Commerciale ²	7,8	28%
Résidentielle dense ³	3,6	13%
Total	16,4	58%

Les données NLCD 2011 ont été mises à jour afin de mieux représenter l'utilisation des sols à proximité des zones de construction. Un cercle d'un rayon de 3 km a été créé dans l'utilitaire *Aersurface* afin de déterminer le nombre de cellules (« pixels ») associé à une catégorie d'utilisation des sols. Les catégories d'usages équivalents aux catégories *Industrielle*, *Commerciale* et *Résidentielle dense* sont les catégories *Développé*, *Moyenne* et *Haute intensité* (codes NLCD 23 et 24). Ces deux catégories représentent 55% du nombre total de cellules à l'intérieur du cercle de rayon de 3 km utilisé pour l'analyse.

Tableau 3-2 : Catégorie d'usage (NLCD 2011)

Catégorie d'usage	Code NLCD 2011	Nombre de cellule	Pourcentage (%)
Plan d'eau	11	9 921	32 %
Développé, espace ouvert	21	303	1 %
Développé, Faible intensité	22	793	3 %
Développé, Moyenne intensité	23	11 127	35 %
Développé, Haute intensité	24	6 360	20 %
Forêt décidue	41	458	1 %
Forêt sempervirente	42	616	2 %
Forêt mixte	43	212	1 %
Fruticée	52	1 026	3 %
Prairie/Herbacée	71	401	1 %
Indéterminée	0	189	1 %
Total		31 406	100 %

¹ Industriel, Service d'utilité publique et Réseau et équipement de transport

² Administration, Commerce, Institutionnel, Loisir et Culture, Mixité résidentielle et commerciale/administration

³ Résidentiel haute et moyenne densité

De plus, une analyse basée sur les plus récentes statistiques démographiques de la Ville de Québec (Ville de Québec, 2020) permet de constater que les quartiers situés à l'intérieur du cercle de 3 km de rayon ont une densité de population combinée de plus de 4000 habitants/km².

3.3

Domaine de modélisation et topographie

Le domaine de modélisation a une dimension standard de 10 km x 10 km. Cette dimension permet d'inclure tous les récepteurs à proximité des sources. La Figure 3-1 présente le domaine ainsi que le maillage des récepteurs utilisés. La topographie du secteur a été caractérisée en utilisant les données DEM-15 minutes du CDED – Canadian Digital Elevation Data (NAD83, 1 : 50,000). La Figure 3-2 présente la topographie du site. Les courbes topographiques montrent que l'élévation sur le domaine de modélisation est d'environ -1 m à 110 m au-dessus du niveau de la mer.

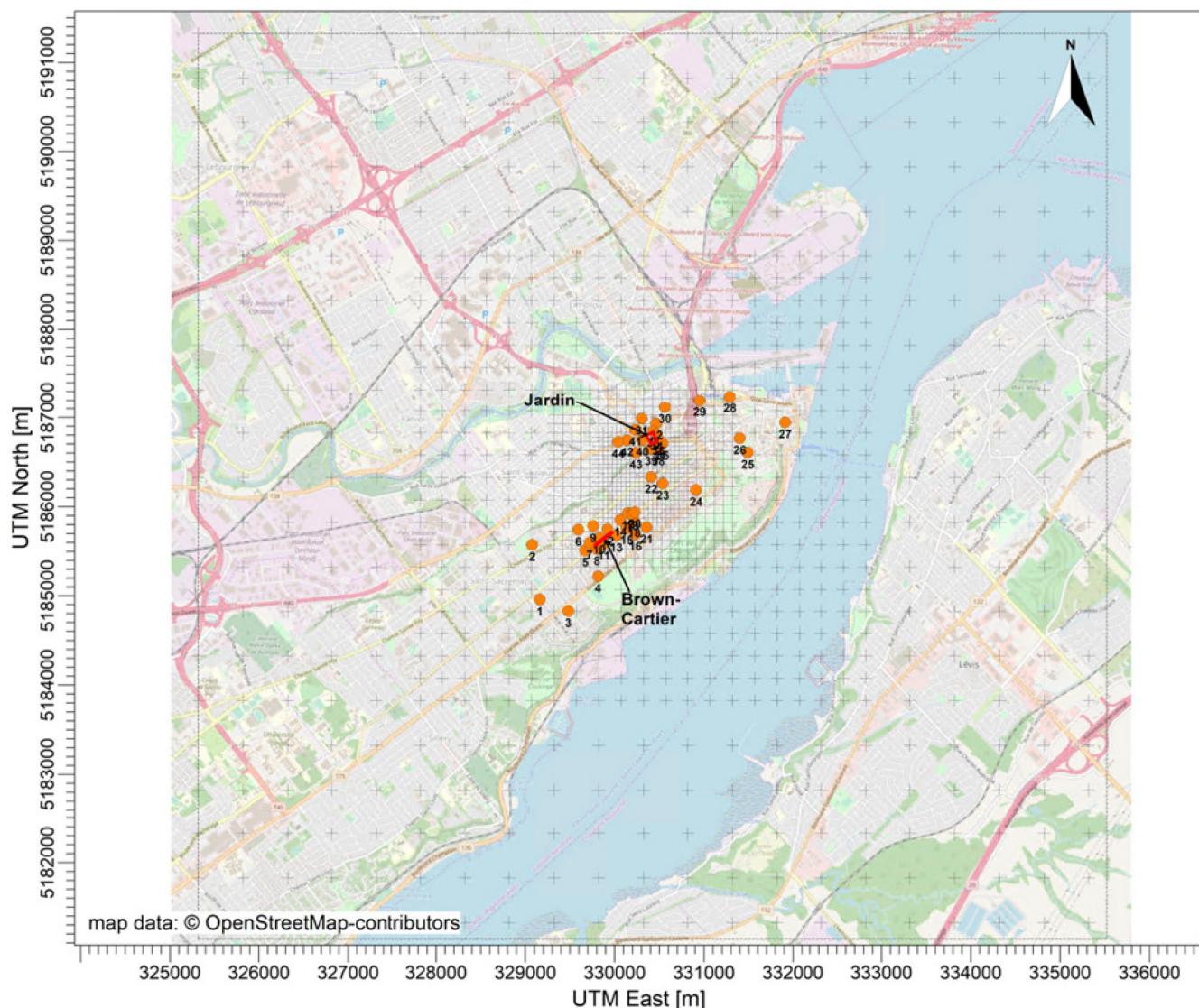


Figure 3-1 : Domaine de modélisation et récepteurs

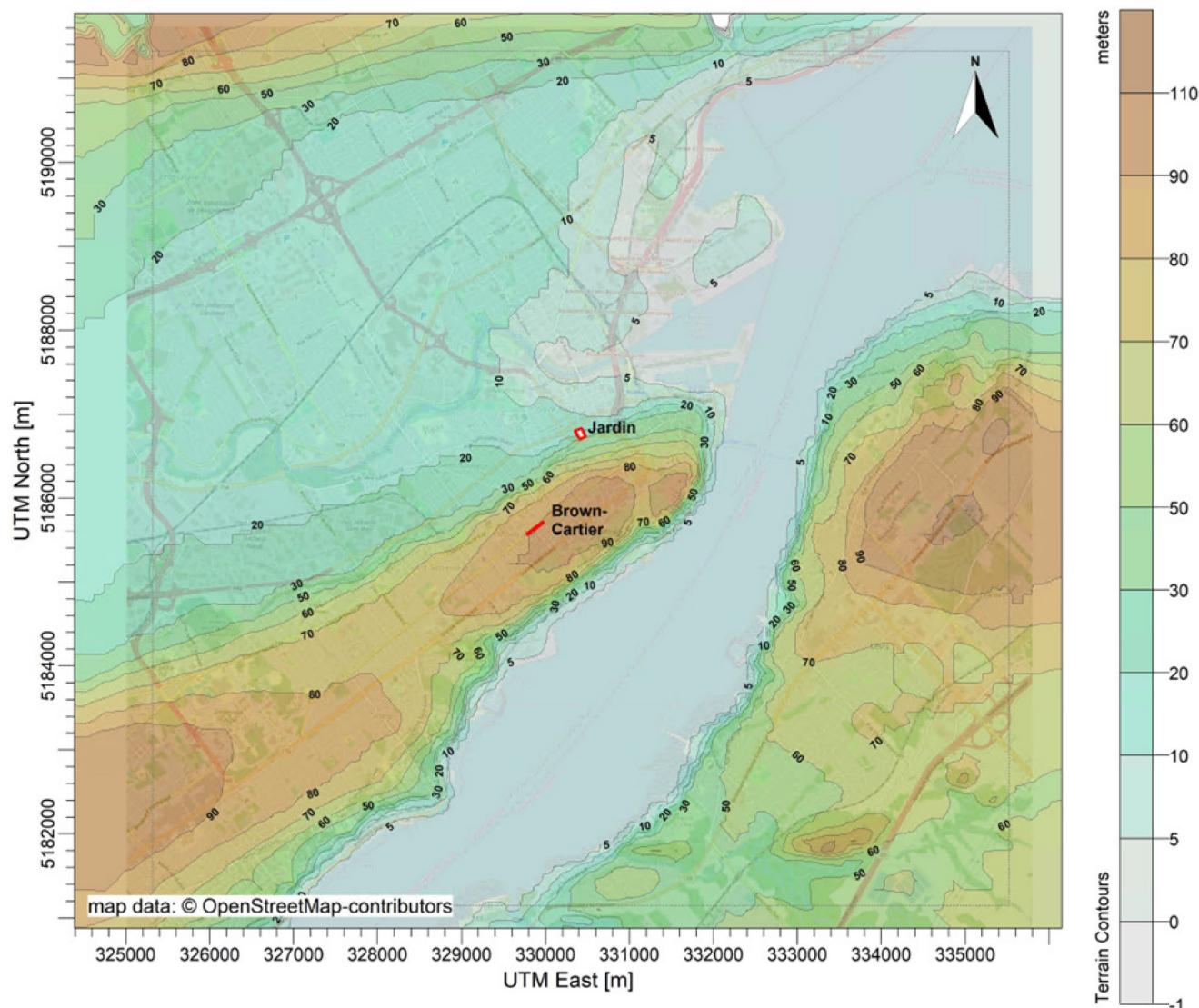


Figure 3-2 : Topographie du domaine de modélisation

3.4 Récepteurs

3.4.1 Grille de récepteurs

La grille de récepteurs a été définie selon les différents maillages présentés dans le Tableau 3-3. Ce maillage permet de mieux caractériser les concentrations de contaminants à proximité des sources d'émission.

Tableau 3-3 : Paramètres de la grille de récepteurs

Maille (m)	Distance du centre de modélisation			
	0 - 0,5 km	0,5 - 1 km	1 - 2,5 km	> 2,5 km
50	x			
100		x		
250			x	
500				x

La grille de récepteurs est présentée à la Figure 3-1 ci-dessus.

Une série de récepteurs a été définie sur le périmètre de chacun des chantiers de construction à prévoir, soit celui entre la Station Brown/Cartier et celui du Jardin Jean-Paul L'Allier. Ces récepteurs, espacés de 10 m, permettent de caractériser les concentrations de contaminants à la limite des sites de construction et ainsi, d'évaluer l'impact sur la qualité de l'air à proximité des travaux. Des récepteurs ont aussi été disposés à 10 et 35 mètres des zones de construction. Aucun récepteur n'est inclus à l'intérieur des limites de construction. La disposition des récepteurs est illustrée à la Figure 3-3 et à la Figure 3-4.

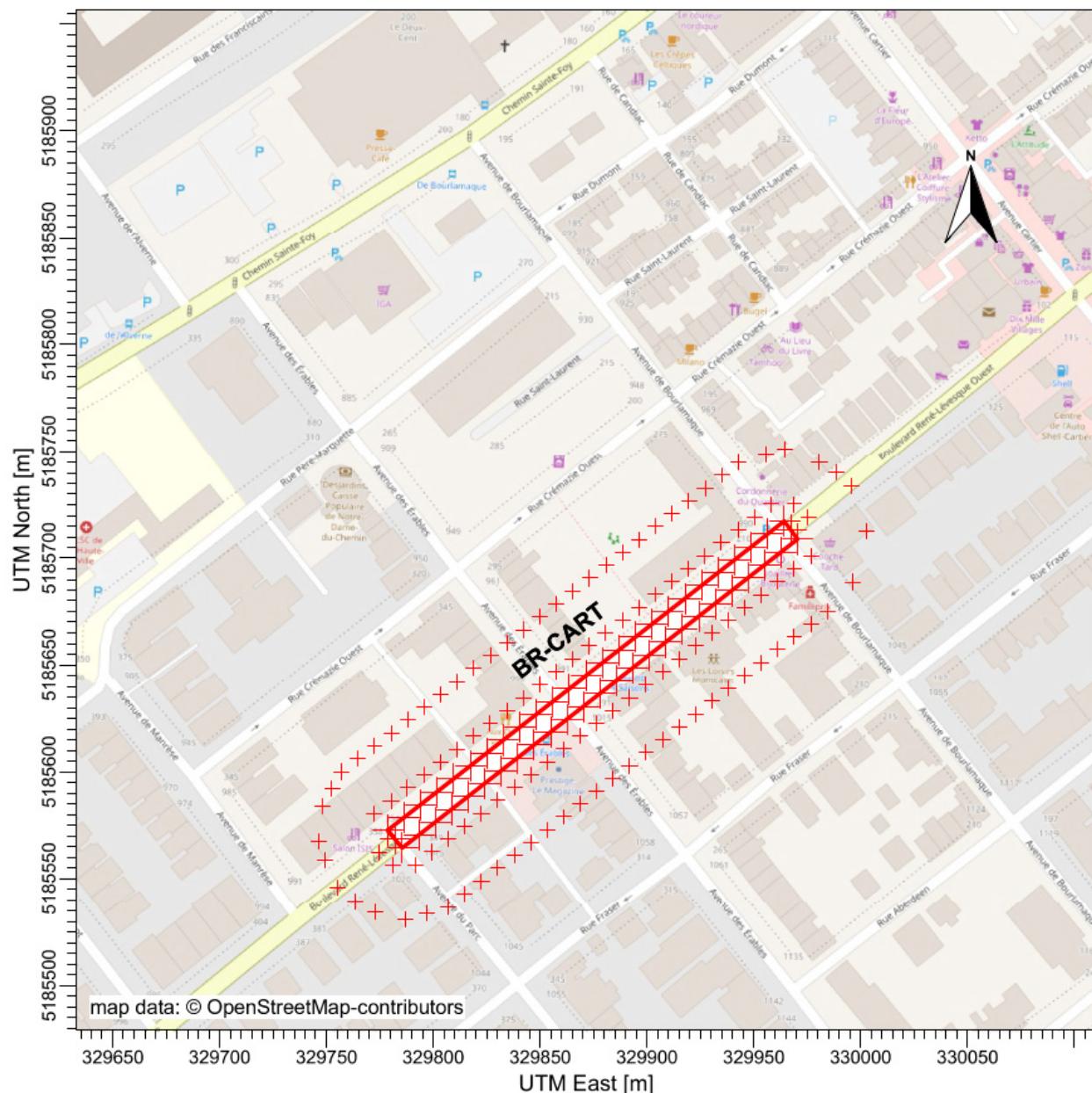


Figure 3-3 : Limites des zones de construction - Secteur Brown-Cartier

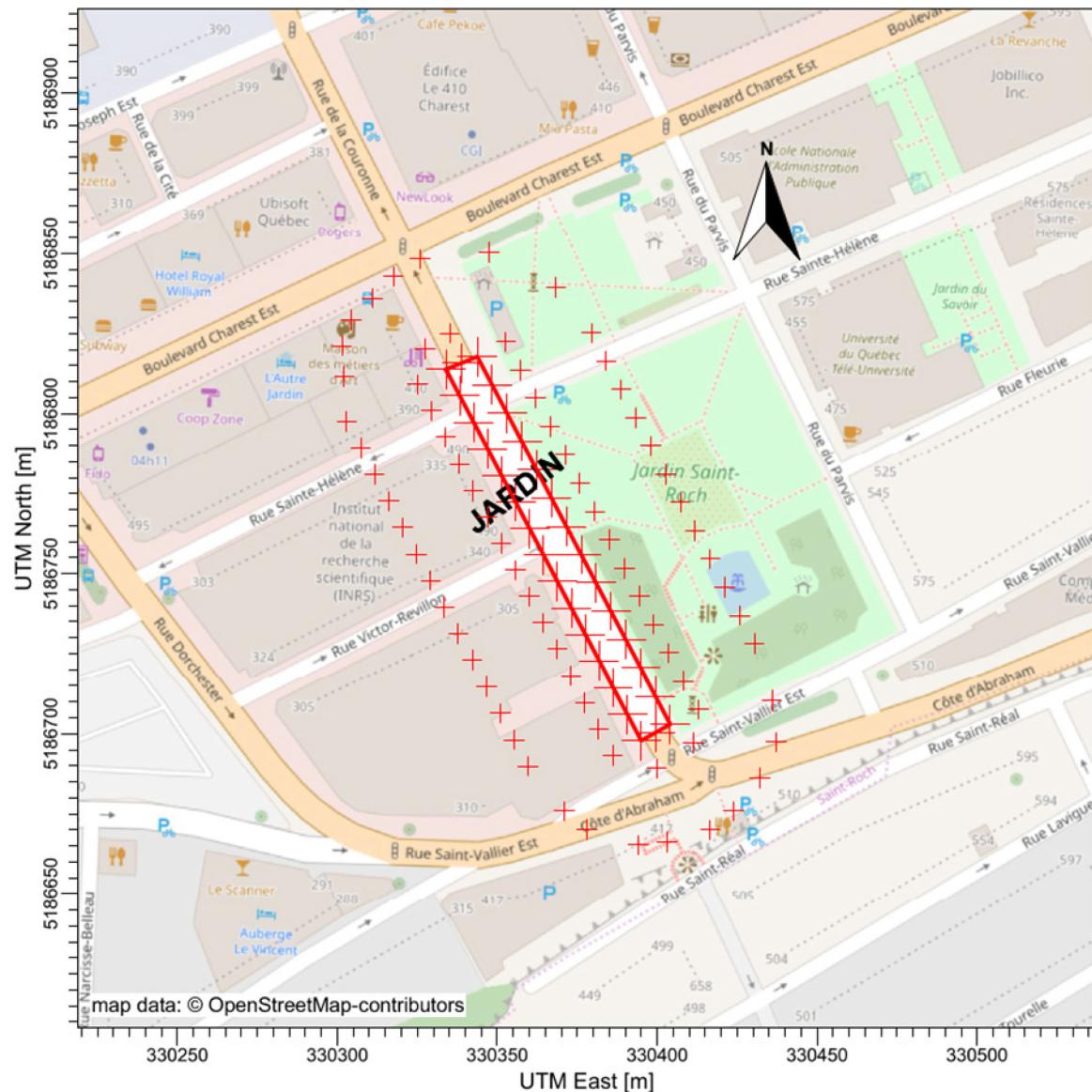


Figure 3-4 : Limites des zones de constructions – Jardin Jean-Paul L'allier

3.4.2 Récepteurs sensibles

Des récepteurs sensibles ont également été sélectionnés dans les quartiers résidentiels et commerciaux les plus proches des activités de construction prévues. Les institutions de santé, de mise en forme et d'éducation les plus proches sont également dans la liste des récepteurs présentée dans le Tableau 3-4 ci-dessous en incluant leurs coordonnées. Leur emplacement est également illustré à la Figure 3-5.

Tableau 3-4 : Récepteurs dans la zone d'étude pour chaque modélisation

Identifiant	Description	Coord X (m)	Coord Y (m)
1	Garderie (CPE)	329161	5184960
2	Résidence	329075	5185572
3	Institut médical	329479	5184834
4	Résidence	329813	5185221
5	Clinique médicale	329669	5185511
6	Université (Orthophonie)	329593	5185743
7	Logement/Appartement	329718	5185596
8	Logement/Appartement	329802	5185525
9	Résidence	329759	5185783
10	Logement/Appartement	329825	5185655
11	Logement/Appartement	329878	5185587
12	Logement/Appartement	329918	5185748
13	Maison unifamiliale	330015	5185674
14	Logement/Appartement	330062	5185852
15	Logement/Appartement	330132	5185762
16	Clinique médicale	330230	5185692
17	Logement/Appartement	330147	5185930
18	Logement/Appartement	330216	5185840
19	Logement/Appartement	330192	5185920
20	Clinique médicale	330223	5185941
21	Résidence	330354	5185771
22	École	330406	5186333
23	Garderie CPE	330536	5186260
24	Garderie CPE	330910	5186188
25	École	331488	5186608
26	Garderie CPE	331398	5186770
27	Résidence	331907	5186946
28	Garderie CPE	331287	5187244
29	Clinique médicale	330948	5187198
30	Résidence	330561	5187121
31	Logement/Appartement	330301	5186990
32	Clinique médicale	330463	5186935
33	École	330431	5186849
34	Université (TELUQ)	330468	5186812
35	Logement/Appartement	330487	5186757
36	Logement/Appartement	330536	5186711
37	Logement/Appartement	330505	5186694
38	Logement/Appartement	330487	5186644
39	Logement/Appartement	330407	5186646
40	Institut de recherche scientifique (INRS)	330309	5186752
41	Logement/Appartement	330229	5186865
42	École	330137	5186747
43	Logement/Appartement	330237	5186605
44	Clinique médicale	330039	5186729

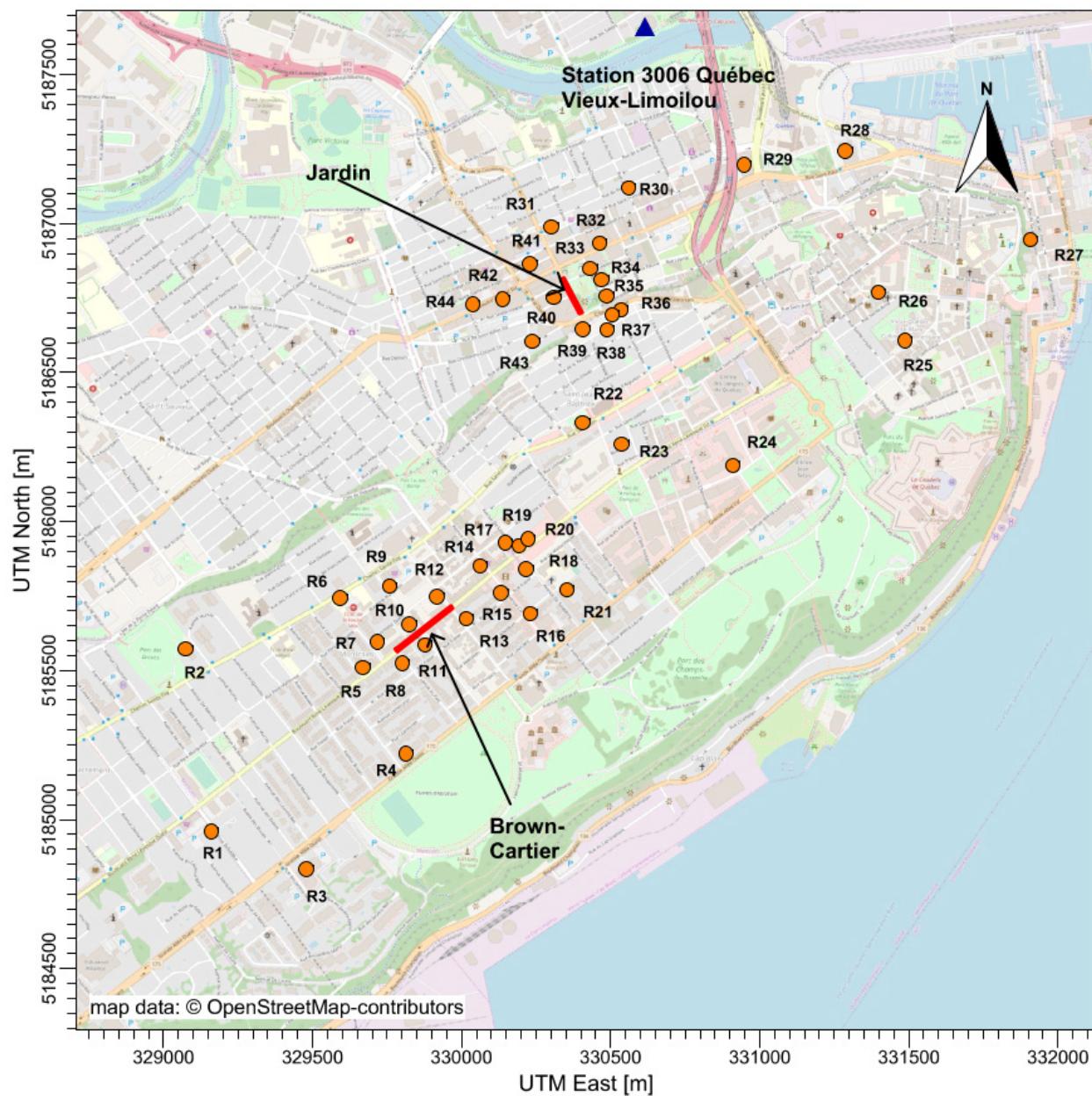


Figure 3-5 : Récepteurs sensibles

4. Données météorologiques

Les données météorologiques utilisées pour la modélisation proviennent directement du MELCC. La station de surface utilisée (ID WMO: 71708) est celle de l'aéroport Jean-Lesage de la Ville de Québec, et ce, pour les années 2008 à 2012. Les données météorologiques ont été traitées dans AERMET et la rose des vents obtenue est présentée à la Figure 4-1. Selon la rose des vents, il est possible de conclure que les vents sont en provenance dominante du sud-ouest et de l'ouest avec une fréquence de près de 40 % du temps. Une fréquence de vents en provenance du nord-est est évaluée à un peu plus de 16 %. Les vents en provenance du nord-ouest ou du sud-est sont très peu fréquents avec une occurrence de moins de 8 % du temps par direction. La vitesse des vents est variable et est évaluée en moyenne à 3,96 m/s pour la période analysée. Cette moyenne

a donc été utilisée dans le calcul des facteurs d'émission de poussières pour la manutention des matériaux.

La station de surface utilisée se trouve à 12 km à l'ouest des chantiers de la station Brown-Cartier et du Jardin Jean-Paul L'allier. Les détails sur la localisation de la station sont présentés au Tableau 4-1.

Tableau 4-1 : Stations météorologiques

Station	Identifiant WMO	Type de station	Coord X (m)	Coord Y (m)	Altitude (m)	Distance (km)	Période couverte
Jean-Lesage	71708	Surface	317671	5184710	74	12	2008-2012
Maniwaki	71722	Aérogéologique	425407	5136727	170	365	2008-2012

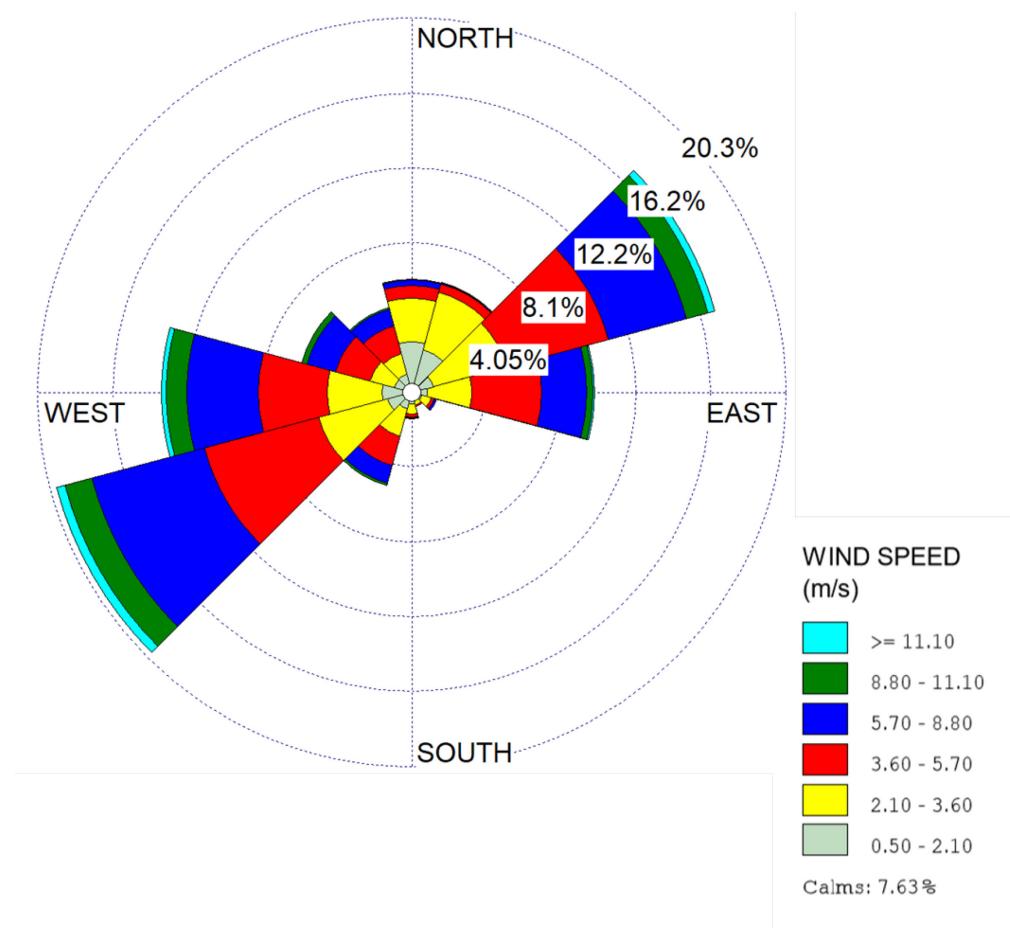


Figure 4-1 : Rose des vents générée pour les données météorologiques horaires de 2008-2012

Les données aérogéologiques proviennent de la station aérogéologique de Maniwaki (ID WMO: 71722) et ont également été fournies par le MELCC pour les années 2008 à 2012. Pour chacune des années visées, aucune donnée météorologique n'était manquante.

Par ailleurs, l'utilisation d'une station météorologique de surface située au port de Québec a été envisagée et étudiée dans le cadre de cette analyse. En effet, la proximité de cette station aux sites de construction faisait en sorte que celle-ci semblait intéressante d'un point de vue de représentativité géographique et, par le fait même, de représentativité météorologique. Or, plusieurs heures et données de cette station étaient manquantes. Ce manque de données était donc trop important pour considérer l'utilisation de cette station dans AERMET, expliquant ainsi le choix de la station de l'aéroport Jean-Lesage.

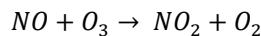
Les données météorologiques employées, provenant de l'aéroport Jean-Lesage de Québec, ont été fournies directement par le MELCC. Par conséquent, les paramètres de surface, incluant l'utilisation des sols, l'albédo et le rapport de Bowen, ont tous été définis par le MELCC selon la procédure appropriée.

Par ailleurs, d'après l'imagerie satellite, il est possible de constater que l'utilisation des sols autour de l'aéroport s'avère un mixte de forêts, de terres agricoles et de zones résidentielles/commerciales. Une petite zone industrielle est également présente au nord de la station météorologique.

5. Scénario de modélisation

Le scénario de modélisation choisi consiste à modéliser les émissions de contaminants atmosphériques provenant des chantiers de construction du tunnel. Comme mentionné précédemment, les activités de construction du tunnel auront le plus grand impact au niveau de la qualité de l'air. Les activités prévues aux deux chantiers du tunnel incluent notamment, sans s'y limiter, du dynamitage, du camionnage et de l'excavation. Aussi, la durée prévue des travaux et la quantité de matériaux qui devraient être excavés et transportés sont les plus importantes sur ce segment. Les sources considérées dans le modèle tiennent compte des activités de construction et de la liste des équipements qui a été fournie dans l'étude d'impact environnemental du projet.

Pour cette modélisation, aucune réaction ou conversion n'a été considérée pour les contaminants émis dans l'atmosphère, à l'exception des oxydes d'azote émis (NOx). En effet, seule une certaine proportion des NOx émis sera transformée en dioxyde d'azote (NO₂) selon la réaction suivante avec l'ozone disponible dans l'atmosphère :



La modélisation a d'abord été effectuée avec un taux de conversion total (100 %), soit avec la condition de conversion la plus désavantageuse pour la présente étude. La modélisation a ensuite été effectuée avec la méthode OLM (« Ozone Limiting Method »). Cette méthode utilise les concentrations ambiantes d'ozone pour déterminer les concentrations de NO₂ formées.

La concentration de NO₂ est déterminée selon ce qui suit :

- Si la concentration (parties par million [ppm]) de NO est inférieure à celle de l'ozone ($[NO] < [O_3]$ ou, plus précisément, $[O_3] > 0,9 \times [NO_x]$), alors on suppose que tout le NO est converti en NO₂ : $[NO_2] = [NO_x]$
- Si la concentration (ppm) de NO est supérieure à celle de l'ozone ($[NO] > [O_3]$), alors une concentration de NO égale à la concentration (ppm) de l'ozone est convertie en NO₂ : $[NO_2] = [O_3] + 0,1 \times [NO_x]$.

Cette méthode permet d'obtenir des résultats plus précis des concentrations de NO₂ dans l'atmosphère une fois la réaction complétée. La présente modélisation utilise une même concentration en ozone pour toutes les heures de la journée, soit 97 µg/m³. Cette valeur représente la moyenne des 98^e percentile des données horaires mesurées sur une période de trois ans. La section 7.2 présente la méthode de calcul de la concentration ambiante. Pour encore plus de précision, la modélisation atmosphérique aurait pu utiliser une concentration d'ozone variable durant l'heure de la journée.

5.1 Sources modélisées

Les sources incluses dans la modélisation ont été modélisées principalement comme des sources ponctuelles, volumiques et linéaires. Les tableaux qui suivent présentent les sources modélisées pour chaque contaminant avec les paramètres qui ont été sélectionnés pour la modélisation. Les paramètres des sources fugitives ont été déterminés selon les paramètres proposés par Trinity Consultants pour le National Stone, Sand and Gravel Association qui sont représentatifs pour un chantier de construction qui comporte surtout des activités de manutention et de transport de matériaux (Trinity Consultants, 2007). Les taux d'émission sont présentés dans le Tableau 5-5 pour chaque source. Les taux d'émission présentés dans ce tableau ne considèrent pas de mesures de d'atténuation. Selon les résultats de modélisation obtenus, des mesures d'atténuation pourraient être ajoutées à celles qui sont présentées dans l'étude d'impact afin de minimiser les taux d'émissions. Les formules et bases de calcul utilisées pour les taux d'émission sont présentées à l'ANNEXE B.

La justification des paramètres pour chaque source est fournie à la section suivante et les valeurs entrées dans AERMOD sont présentées dans le Tableau 5-2, le Tableau 5-3 et le Tableau 5-4. Par ailleurs, chacune des sources décrites ci-dessous sont représentées pour chacun des deux sites de construction visés dans le cadre de cette étude, soit le chantier Brown-Cartier et celui du Jardin Jean-Paul L'Allier. La Figure 5-1 et la Figure 5-2 présentent les sources du chantier Brown-Cartier tandis que la Figure 5-3 et la Figure 5-4 présentent celles du chantier Jardin Jean-Paul L'Allier.

La construction du tunnel nécessitera l'utilisation de systèmes de ventilation permettant des changements d'air adéquats lors de la construction du tunnel. Ces systèmes de ventilation ne sont pas encore définis à ce stade-ci du projet (débit, température, dimension) et seront vraisemblablement choisis par l'entrepreneur. Avec l'utilisation de ces systèmes, il est important de souligner qu'il existe des équipements de contrôle des particules (i.e. : dépoussiéreurs) pouvant être installés pour minimiser la quantité de poussières rejetées à l'atmosphère. Une sortie d'air est prévue à chacune des entrées du tunnel. Avec un système de contrôle des particules ayant une efficacité de 95%, il est possible de réduire les émissions de poussières qui n'étaient pas contrôlées lors de l'utilisation des explosifs en surface. Le Tableau 5-1 présente les taux d'émissions du scénario actuellement modélisé (pire scénario, sans contrôle des émissions) et les taux d'émissions pour le scénario du système de ventilation avec contrôle des émissions de particules. De plus, la source de ventilation, considérée comme une source ponctuelle, bénéficierait d'une meilleure dispersion des contaminants considérant que les sources ponctuelles sont modélisées avec une vitesse de sortie et que les sources volumiques ne la considère pas.

Puisque les récepteurs sont à proximité des sources, l'usage d'une source ponctuelle par rapport à une source volumique est préférable pour améliorer la dispersion des contaminants.

Tableau 5-1 : Comparaison des taux d'émissions pour la source des explosifs

Source	Type de source	Nom modèle	Unités	PST	PM _{2.5}
Explosifs en surface	Volumique	EXPLO1 EXPLO2	g/s	4,0E-02	1,2E-03
Système de ventilation	Ponctuelle	-	g/s	2,0E-03	6,0E-05

Aucune source surfacique n'est prévue au projet puisqu'il n'y aura pas de pile d'entreposage de matériel durant la construction du tunnel. Le roc et le matériel provenant des sautages seront chargés au fur et à mesure par la chargeuse dans les camions de transport. L'entrepreneur devra fournir un engagement selon lequel il ne fera pas de pile d'entreposage de matériel.

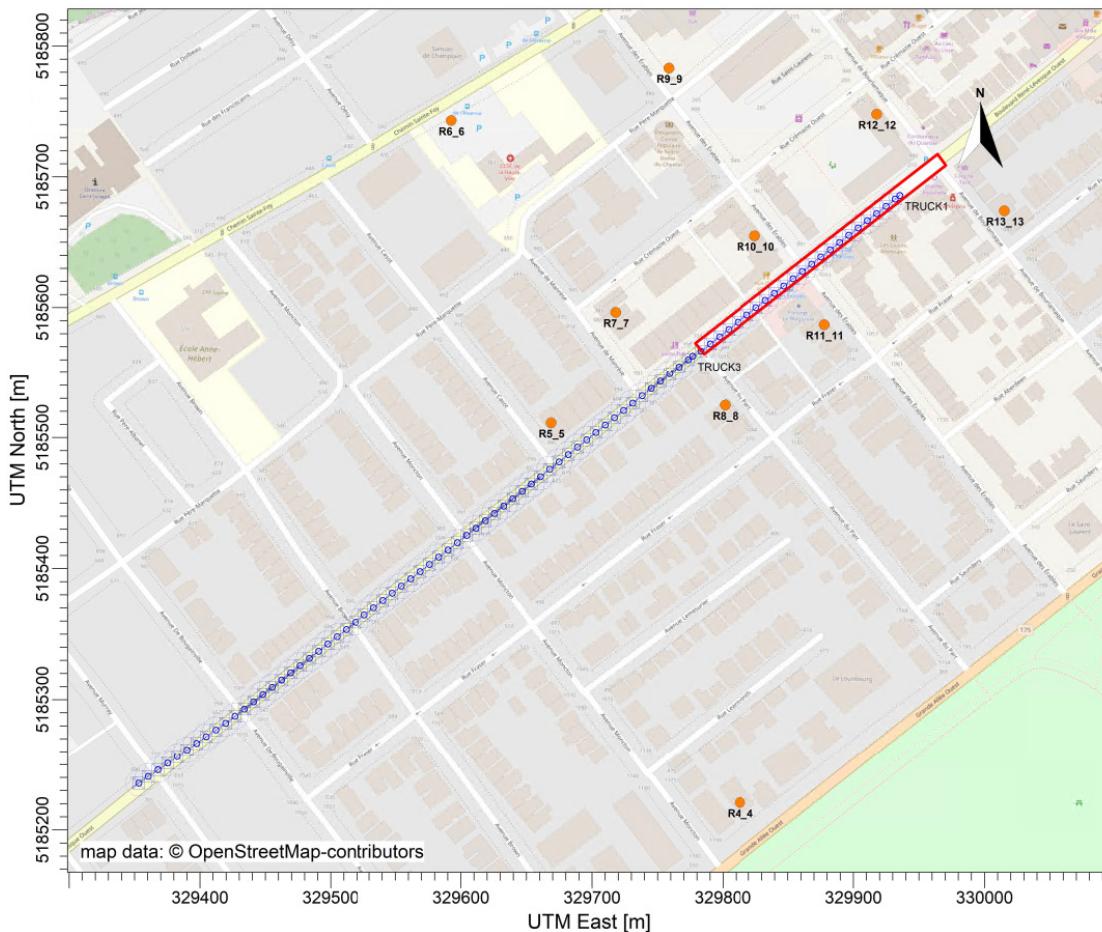


Figure 5-1 : Chantier Brown-Cartier - Sources linéaires volumiques

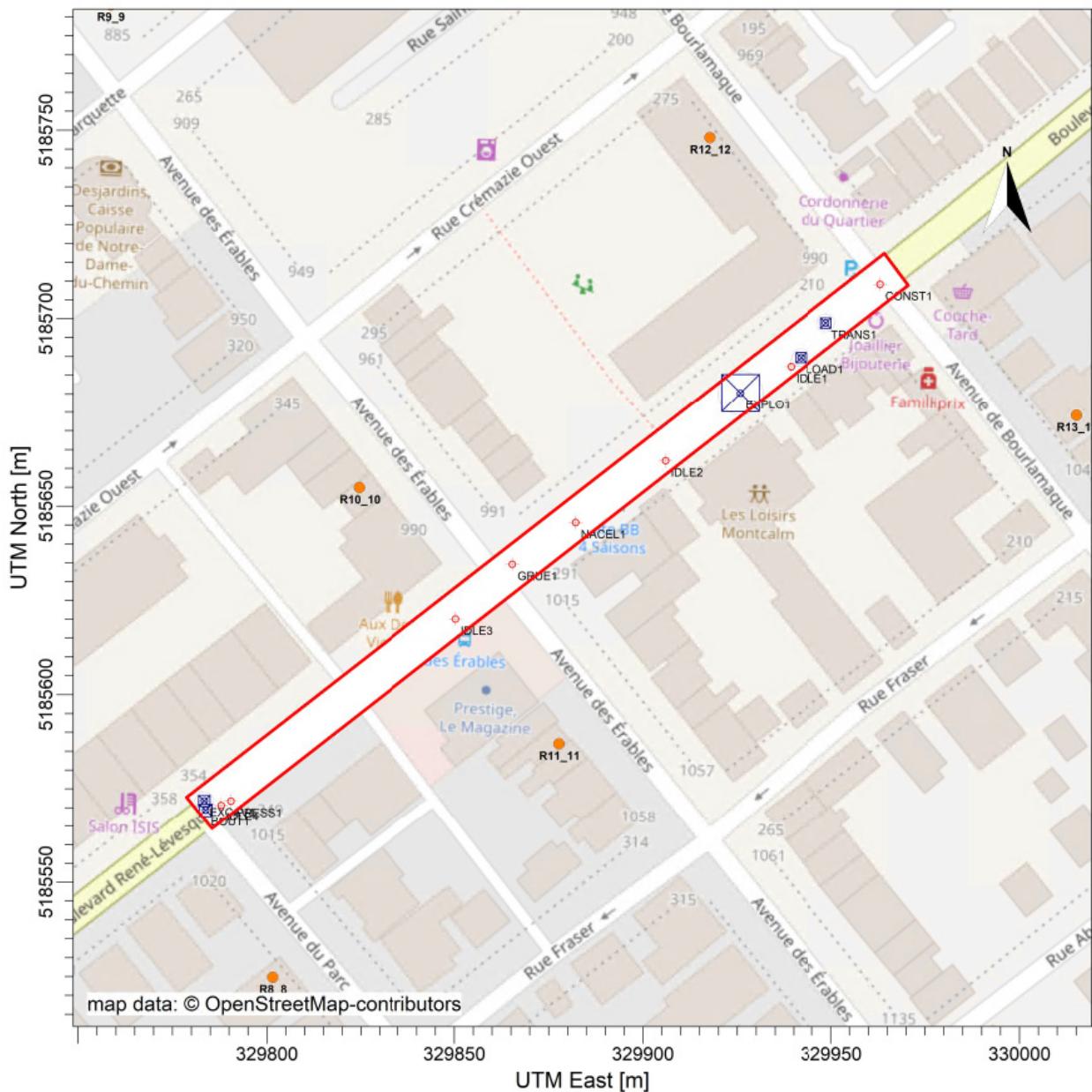


Figure 5-2 : Chantier Brown-Cartier - Sources volumiques et ponctuelles



Figure 5-3 : Chantier Jardin Jean-Paul L'Allier - Sources linéaires volumiques

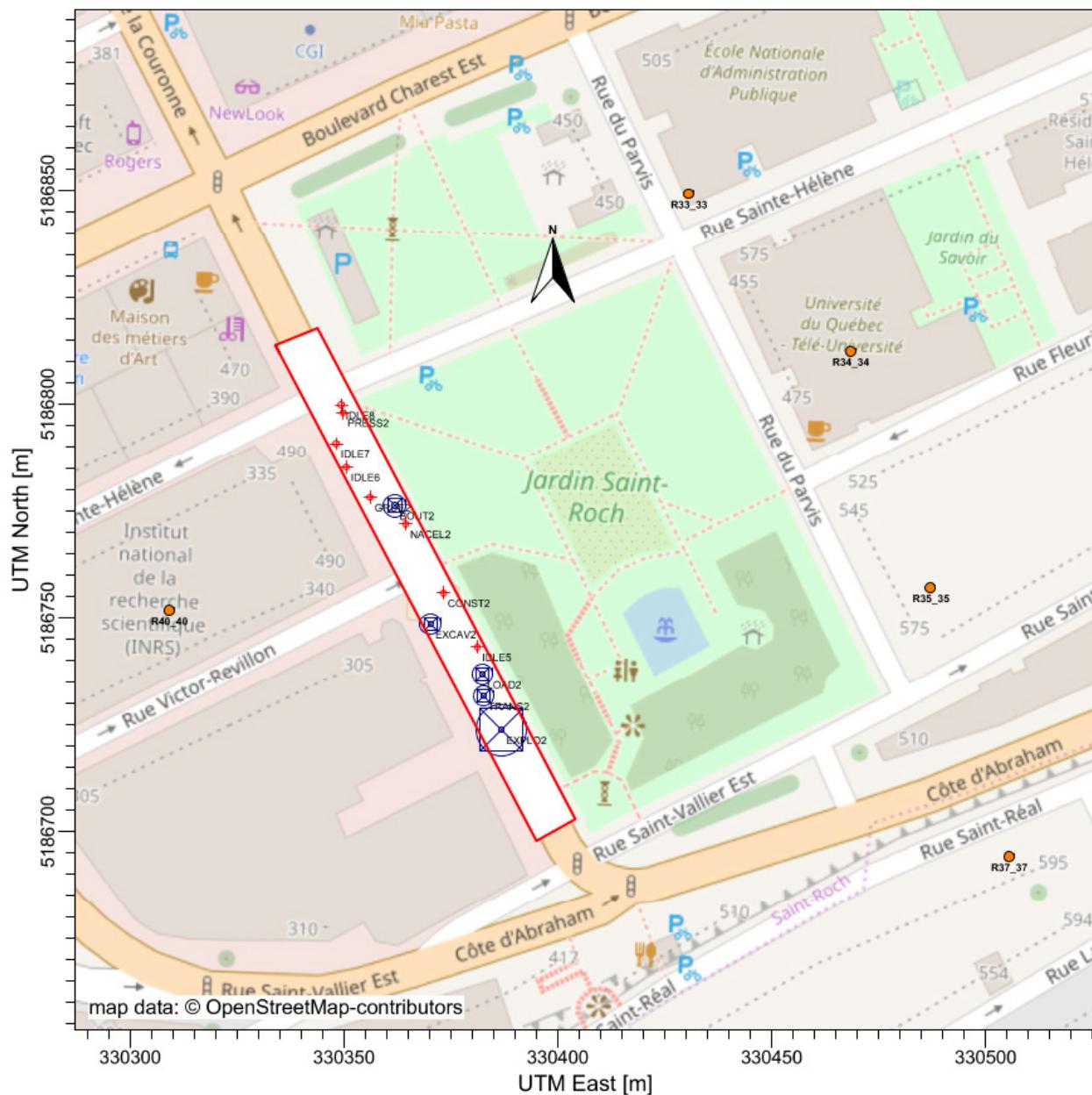


Figure 5-4 : Chantier Jardin Jean-Paul L'Allier - Sources volumiques et ponctuelles

5.1.1 Sources ponctuelles

Camions sur le chantier (mode « idle ») : Pendant les opérations de chargement, il a été considéré que certains camions allaient rester immobiles sur le site en mode « idle » (800 à 1000 RPM). Afin de considérer ces émissions dans le modèle, une source ponctuelle qui représente le tuyau d'échappement d'un camion a été ajoutée. Cette source a été modélisée selon un tuyau d'échappement en hauteur orienté de façon verticale. Une température standard a été attribuée et une vitesse de 15 m/s a été utilisée pour représenter la vitesse à la sortie du tuyau d'échappement (Nonthakarn & Ekpanyapong, 2019). La hauteur de décharge, estimée à 4 m, correspond à la hauteur du tuyau d'échappement par rapport au sol. Cette procédure a été employée pour chacun des types de camions utilisés sur le chantier, soit un camion articulé, un camion-plateforme, un camion-flèche ainsi qu'un camion-citerne d'eau. De plus, considérant qu'il y aura deux chantiers

de construction (Brown-Cartier et Jardin Jean-Paul L'Allier), chacune de ces sources est représentée à deux emplacements distincts dans le modèle. (San Joaquin Valley , 2010)

Nacelle (NACEL1/2) : Pendant les activités de construction, il a été considéré que certains équipements, dont la nacelle, allaient rester immobiles sur le site. Afin de considérer ces émissions dans le modèle, une source ponctuelle qui représente le tuyau d'échappement d'un moteur au diesel a été ajoutée. Cette source a été modélisée selon un tuyau d'échappement orienté de façon horizontale. Une température standard a été attribuée et une vitesse de 15 m/s a été utilisée pour représenter la vitesse à la sortie du tuyau d'échappement (Nonthakarn & Ekpanyapong, 2019). La hauteur de décharge a été estimée à 1 m.

Grue (GRUE1/2) : Pendant les activités de construction, il a été considéré que certains équipements, dont la grue, allaient rester immobiles sur le site. Afin de considérer ces émissions dans le modèle, une source ponctuelle qui représente le tuyau d'échappement d'un moteur au diesel a été ajoutée. Cette source a été modélisée selon un tuyau d'échappement orienté de façon horizontale. Une température standard a été attribuée et une vitesse de 15 m/s a été utilisée pour représenter la vitesse à la sortie du tuyau d'échappement (Nonthakarn & Ekpanyapong, 2019). La hauteur de décharge a été estimée à 1 m.

Nettoyeur à haute-pression (PRESS1/2): Cet équipement est représenté par une source ponctuelle. Cette source a été modélisée selon un tuyau d'échappement orienté de façon horizontale. Une température standard a été attribuée et une vitesse de 15 m/s a été utilisée pour représenter la vitesse à la sortie du tuyau d'échappement (Nonthakarn & Ekpanyapong, 2019). La hauteur de décharge, estimée à 0,5 m, correspond à une hauteur quelque peu supérieure à la hauteur totale de l'équipement.

Génératrices (CONST1/2): Des sources ponctuelles ont été utilisées pour représenter les génératrices utilisées sur le chantier de construction pour l'éclairage et d'autres activités nécessitant un apport en électricité. Cette source a été modélisée selon un tuyau d'échappement orienté de façon verticale. Une température standard a été attribuée et une vitesse de 15 m/s a été utilisée pour représenter la vitesse à la sortie du tuyau d'échappement (Nonthakarn & Ekpanyapong, 2019). La hauteur de décharge est estimée à 1 mètre.

5.1.2 Sources volumiques

Circulation de la chargeuse du point de chargement au point de déchargement (TRANS1/2) : Cette source représentée par une source volumique tient compte de la circulation de la chargeuse sur une route non pavée. La hauteur de décharge est évaluée à 1,65 m, ce qui correspond à la moitié de la hauteur de l'équipement (3,3 m). La dimension horizontale tient compte de la méthode suivante : (largeur de la chargeuse (2,5 m) + 6) / 4,3. La dimension verticale initiale correspond à la hauteur de l'équipement divisée par 2,15.

Changement des camions (LOAD1/2) : Cette activité est représentée par une source volumique. La source volumique doit avoir une hauteur de décharge équivalente à la moitié de la hauteur du camion dans lequel les matériaux sont chargés. La hauteur du camion étant estimée à une valeur de 3,8 m, la hauteur de décharge de la source est estimée à 1,9 m. La largeur de la source a été estimée selon une largeur de pelle de la chargeuse estimée à 2,5 m. La dimension horizontale sigma y est donc équivalente à cette largeur divisée par 4,3, ce qui correspond à l'utilisation d'une méthodologie standard. Une dimension verticale a été attribuée considérant que les particules seront émises en hauteur lorsque la pelle de la chargeuse déchargera les matériaux dans les

camions. Une hauteur de 3,8 m a été considérée, puis divisée par 4,3, ce qui correspond à la méthodologie standard.

Utilisation d'explosifs (EXPLO1/2) : Les explosifs sont représentés comme une source volumique dans le modèle. Un taux d'émission variable sera attribué pour cette source étant donné que seulement quatre (4) sautages par jour sont prévus dans le calendrier des travaux. La quantité d'explosifs utilisée par sautage est relativement faible si on la compare avec les quantités généralement utilisées dans les mines et les carrières. Les dimensions de la surface horizontale sont estimées à 10 m par 7 m. Sachant que le panache de gaz varie principalement selon la masse d'explosifs utilisée (Thielen & Schröld, 2004), il est attendu que ce dernier ait un diamètre restreint. Selon la méthode conseillée par la *Colorado Air Pollution Control Division (CAPCD)* (Malone & Bernardo, 2019), la détermination de la hauteur de relâche et des dimensions initiales verticale et horizontale est basée sur le diamètre initial du panache. Pour une quantité d'environ 100 kg d'explosifs, le diamètre initial du panache est évalué à 10 m par *OBODM*⁴, un modèle de dispersion atmosphérique alternatif approuvé par la US EPA servant à évaluer les impacts potentiels sur la qualité de l'air de la détonation et la combustion de munition.

La *CAPCD* mentionne que la hauteur de relâche est égale à la moitié du diamètre initial du panache et que la dimension initiale verticale correspond au diamètre initial divisé par 2,15. Pour sa part, la dimension horizontale est la largeur de la surface dynamitée ou le diamètre initial divisé par 4,3. Ainsi, la hauteur de relâche est évaluée à 5 m et la dimension verticale à 4,65 m. Une largeur de 10 m a été attribuée aux sources volumiques pour représenter la zone de la tranchée. La dimension horizontale sigma y est donc équivalente à cette largeur divisée par 4,3, ce qui correspond à l'utilisation d'une méthodologie standard.

Buteur (BOUT1/2): L'utilisation de buteurs pour la préparation des sites de construction est représentée par des sources volumiques. Ces sources considèrent une hauteur de décharge de 1,6 m qui est équivalente à la moitié de la hauteur de l'équipement. Une largeur de 3,2 m a été attribuée aux sources volumiques pour représenter la largeur de la pelle du buteur. La dimension horizontale sigma y est donc équivalente à cette largeur divisée par 4,3, ce qui correspond à l'utilisation d'une méthodologie standard. La dimension verticale initiale correspond à la hauteur de l'équipement divisée par 2,15.

Excavatrice (EXCAV1/2) : Des excavatrices seront utilisées sur les chantiers de construction et sont incluses dans le modèle en tant que sources volumiques. La hauteur considérée est de 1,5 m, ce qui est équivalent à la moitié de la hauteur de l'équipement. Une largeur de 3 m a été attribuée aux sources volumiques pour représenter la zone excavée. La dimension horizontale sigma y est donc équivalente à cette largeur divisée par 4,3, ce qui correspond à l'utilisation d'une méthodologie standard. La dimension verticale initiale correspond à la hauteur de l'équipement divisée par 2,15.

5.1.3 Sources linéaires volumiques

Camionnage route non pavée (TRUCK1/TRUCK2) et route pavée (TRUCK3/TRUCK4) : Pour ces sources, la fonction « *haul road* » a été utilisée dans AERMOD pour les sources volumiques linéaires. La hauteur du camion a été estimée à 3,8 m, tandis que la largeur a été évaluée à 3 m. La Figure 5-5 présente les paramètres utilisés pour la source.

⁴ *OBODM* n'est utilisé que pour évaluer le diamètre initial du panache de gaz suite au sautage.

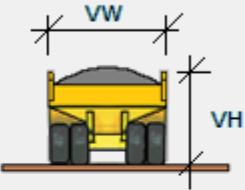
Pour le secteur Brown-Cartier, quatorze (14) sources volumiques ont été générées sur une distance approximative de 127 m, et ce, pour les routes non pavées. Pour les routes pavées, soixante-sept (67) sources volumiques ont été générées sur une distance de 607 m.

Pour le secteur du Jardin Jean-Paul L'Allier, sept (7) sources volumiques ont été générées sur une distance approximative de 66 m sur la portion non pavée du chantier. De plus, soixante-dix-sept (77) sources volumiques ont été générées le long de la route pavée du chantier de construction jusqu'à l'entrée de l'autoroute 40, et ce, sur une distance de 694 m. Les émissions des camions sur l'autoroute n'ont pas été considérées étant donné que les taux de silt sont inférieurs sur les chaussées ayant un grand volume de circulation routière et que les émissions sont négligeables par rapport au reste de la contribution de la circulation existante.

Haul Road Volume Source Calculator X

Haul Road Parameters

Configuration: **Adjacent**

Vehicle Height (VH):	3.8	[m]	
Factor:	1.7		
Plume Height (PH):	6.46	[m] (PH = Factor * VH)	
Release Height (RH):	3.23	[m] (RH = 0.5 * PH)	
Initial Sigma Z:	3.0	[m] (Sigma Z = PH / 2.15)	

Lane Type:	Single Lane	
Vehicle Width (VW):	3.0	[m]
Plume Width (PW):	9.0	[m] (PW = VW + 6m)
Initial Sigma Y:	4.19	[m] (Sigma Y = PW / 2.15)

Emission Rate:	1	[g/s]
----------------	---	-------

Figure 5-5 : Paramètres de la source de camionnage sur route non pavée (extrait d'AERMOD, taux d'émission unitaire)

Tableau 5-2: Paramètres des sources ponctuelles

Source	Coordonnée X (m)	Coordonnée Y (m)	Élévation (m)	Hauteur (m)	Diamètre (m)	Vitesse (m/s)	Température (K)
IDLE1	329939	5185687	90	4,0	0,1	15	366
IDLE2	329906	5185662	90	4,0	0,1	15	366
IDLE3	329850	5185620	90	4,0	0,1	15	366
IDLE4	329788	5185571	90	4,0	0,1	15	366
IDLE5	330381	5186743	19	4,0	0,1	15	366
IDLE6	330350	5186785	17	4,0	0,1	15	366
IDLE7	330348	5186791	17	4,0	0,1	15	366
IDLE8	330349	5186800	17	4,0	0,1	15	366
PRESS1	329790	5185572	90	0,5	0,1	15	366
PRESS2	330350	5186798	17	0,5	0,1	15	366
NACEL1	329882	5185646	90	1,0	0,1	15	366
NACEL2	330364	5186772	18	1,0	0,1	15	366
GRUE1	329865	5185635	90	1,0	0,1	15	366
GRUE2	330356	5186778	17	1,0	0,1	15	366
CONST1	329963	5185709	90	1,0	0,1	15	366
CONST2	330373	5186756	18	1,0	0,1	15	366

Tableau 5-3: Paramètres des sources volumiques

Source	Coordonnée X (m)	Coordonnée Y (m)	Élévation (m)	Hauteur (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)
LOAD1	329942	5185690	90	1,9	0,58	0,88
LOAD2	330382	5186737	20	1,9	0,58	0,88
TRANS1	329949	5185699	90	1,65	1,98	1,53
TRANS2	330383	5186732	20	1,65	1,98	1,53
EXPLO1	329926	5185680	90	5,0	2,33	4,65
EXPLO2	330387	5186724	20	5,0	2,33	4,65
BOUT1	329784	5185569	90	1,6	0,77	1,49
BOUT2	330362	5186776	18	1,6	0,77	1,49
EXCAV1	329783	5185572	90	1,5	0,70	1,40
EXCAV2	330370	5186749	18	1,5	0,70	1,40

Tableau 5-4: Paramètres des sources volumiques linéaires

Source	Coordonnée X (m)	Coordonnée Y (m)	Élévation (m)	Hauteur (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)
TRUCK1	329931	5185684	90	3,2	4,2	3,0
	329830	5185606	90			
TRUCK2	330378	5186740	25	3,2	4,2	3,0
	330348	5186798	18			
TRUCK3	329827	5185604	90	3,2	4,2	3,0
	329611	5185430	90			
	329422	5185284	88			
	329347	5185232	88			
TRUCK4	330348	5186798	17	3,2	4,2	3,0
	330321	5186852	15			
	330755	5187042	10			
	330773	5187003	10			

Source	Coordonnée X (m)	Coordonnée Y (m)	Élévation (m)	Hauteur (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)
	330772	5186975	10			
	330752	5186929	13			
	330769	5186895	13			

Tableau 5-5: Taux d'émissions sans atténuations

Source	Nom modèle	Unités	CO	NOx	SO ₂	HAP	PST	PM _{2.5}	PM _{2.5D}
Transport matériaux par chargeuse	TRANS1 TRANS2	g/s	8,0E-02	9,2E-03	1,5E-04	1,4E-07	1,7E-01	4,9E-03	4,6E-04
Chargement des camions	LOAD1 LOAD2	g/s	-	-	-	-	6,1E-02	3,2E-03	-
Camionnage sur route non pavée	TRUCK1	g/s	2,7E-04	1,2E-03	4,8E-05	1,5E-09	9,9E-01	2,8E-02	2,7E-05
Camionnage sur route non pavée	TRUCK2	g/s	1,4E-04	6,0E-04	2,5E-05	7,7E-10	5,1E-01	1,5E-02	1,4E-05
Camionnage sur route pavée	TRUCK3	g/s	1,3E-03	5,5E-03	2,3E-04	7,2E-09	1,3E-01	6,1E-03	1,3E-04
Camionnage sur route pavée	TRUCK4	g/s	1,4E-03	6,3E-03	2,6E-04	8,2E-09	1,5E-01	7,0E-03	1,5E-04
Génératrices pour éclairage sur chantier ²	CONST1 CONST2	g/s	5,5E-02	5,2E-02	7,3E-05	6,0E-08	3,3E-04	3,3E-04	3,3E-04
Nettoyeur à haute pression	PRESS1 PRESS2	g/s	2,4E-03	2,2E-03	3,1E-06	1,4E-08	1,4E-05	1,4E-05	1,4E-05
Camions transport en mode « <i>idle</i> »	IDLE1 IDLE5	g/s	1,0E-02	2,2E-02	-	4,3E-08	2,2E-05	2,2E-05	2,2E-05
Camions auxiliaires en mode « <i>idle</i> »	IDLE2/6 IDLE3/7 IDLE4/8	g/s	5,1E-03	1,1E-02	-	2,2E-08	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05
Bouteur	BOUT1 BOUT2	g/s	7,9E-02	6,4E-03	1,0E-04	1,4E-07	9,3E-04	3,5E-04	4,6E-04
Excavatrice	EXCAV1 EXCAV2	g/s	7,6E-02	6,1E-03	1,0E-04	1,4E-07	9,2E-04	3,4E-04	3,0E-04
Nacelle	NACEL1 NACEL2	g/s	1,6E-02	1,3E-03	2,1E-05	2,5E-08	6,5E-05	6,5E-05	6,5E-05
Grue	GRUE1 GRUE2	g/s	1,9E-01	2,2E-02	3,5E-04	1,2E-07	1,1E-03	1,1E-03	1,1E-03
Explosifs	EXPLO1 EXPLO2	g/s	7,1E-01	1,1E-01	1,5E-02	-	4,0E-02	1,2E-03	-

⁽¹⁾ Lorsqu'inconnu, les taux d'émissions des PM_{2.5} sont considérés comme équivalents au PST.

⁽²⁾ Par chantier, pour 3 génératrices.

5.2 Mesures d'atténuation

Lors de l'estimation des taux d'émissions, une mesure d'atténuation a été appliquée sur les sources de camionnage et sur la source représentant les mouvements des chargeuses entre les camions et le tunnel. Une réduction de 75 %, atteignable grâce à un arrosage de niveau 2, a été utilisée pour ces sources. Une atténuation de 50 % a aussi été appliquée pour la source de chargement des camions de transport. Cette réduction est atteignable par un arrosage de l'activité de chargement des camions à l'aide de jets d'eau ou de brumisateurs. Les taux d'émissions avec l'application des mesures d'atténuation sont présentés au Tableau 5-6.

Tableau 5-6: Taux d'émissions avec atténuation pour les sources applicables

Source	Nom modèle	Unités	CO	NOx	SO ₂	HAP	PST	PM _{2,5}	PM _{2,5D}
Transport des matériaux par chargeuse	TRANS1 TRANS2	g/s	8,0E-02	9,2E-03	1,5E-04	1,4E-07	4,3E-02	1,7E-03	4,6E-04
Chargement des camions	LOAD1 LOAD2	g/s	-	-	-	-	3,0E-02	1,6E-03	-
Camionnage sur route non pavée	TRUCK1	g/s	2,7E-04	1,2E-03	4,8E-05	1,5E-09	2,5E-01	7,1E-03	2,7E-05
Camionnage sur route non pavée	TRUCK2	g/s	1,4E-04	6,0E-04	2,5E-05	7,7E-10	1,3E-01	3,7E-03	1,4E-05
Camionnage sur route pavée	TRUCK3	g/s	1,3E-03	5,5E-03	2,3E-04	7,2E-09	3,3E-02	1,6E-03	1,3E-04
Camionnage sur route pavée	TRUCK4	g/s	1,4E-03	6,3E-03	2,6E-04	8,2E-09	3,7E-02	1,9E-03	1,5E-04

6. Effet des bâtiments

Afin de considérer l'effet des bâtiments sur les sources ponctuelles, certains bâtiments qui sont situés à proximité des zones de travaux ont été inclus dans le modèle de dispersion atmosphérique. Les données concernant les hauteurs ont été fournies par la Ville de Québec.

6.1 Secteur du Jardin

Le secteur du Jardin est entouré de bâtiments ayant des hauteurs variant entre 16 m et 38 m, parfois situés à moins de 5 m de la zone des travaux estimée. Ces bâtiments sont utilisés comme des édifices à vocations principalement commerciales (bureau) et institutionnelles (écoles, centres de recherche). Quelques bâtiments résidentiels sont situés à l'est des travaux. La Figure 6-1 présente les bâtiments considérés au secteur du Jardin.

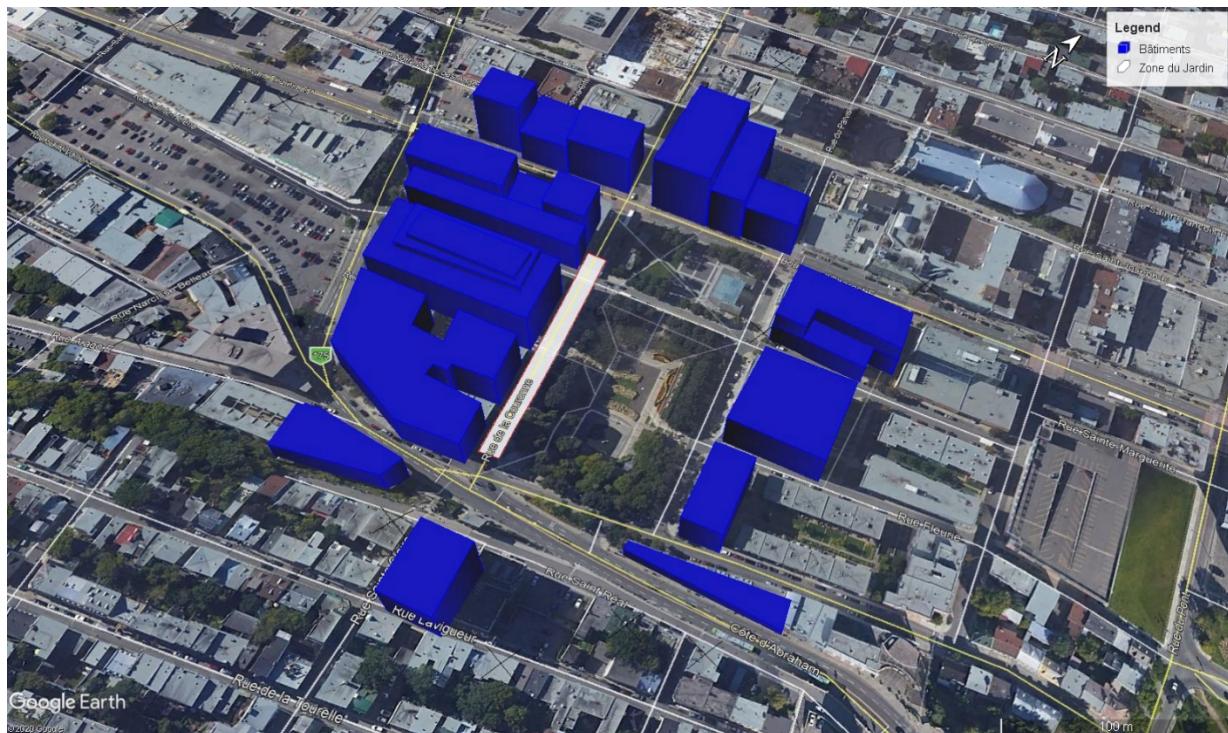


Figure 6-1 : Bâtiments considérés au secteur du Jardin

6.2 Secteur Brown/Cartier

Les bâtiments à proximité du secteur Brown/Cartier ont des hauteurs variant entre 8 m et 31 m. Il s'agit principalement d'édifices à logement (multiplex) avec quelques bâtisses commerciales. La zone des travaux estimée couvre la totalité du boulevard René-Lévesque O., ayant une distance d'environ 5 m des bâtiments les plus proches. La Figure 6-2 présente les bâtiments considérés au secteur Brown/Cartier.

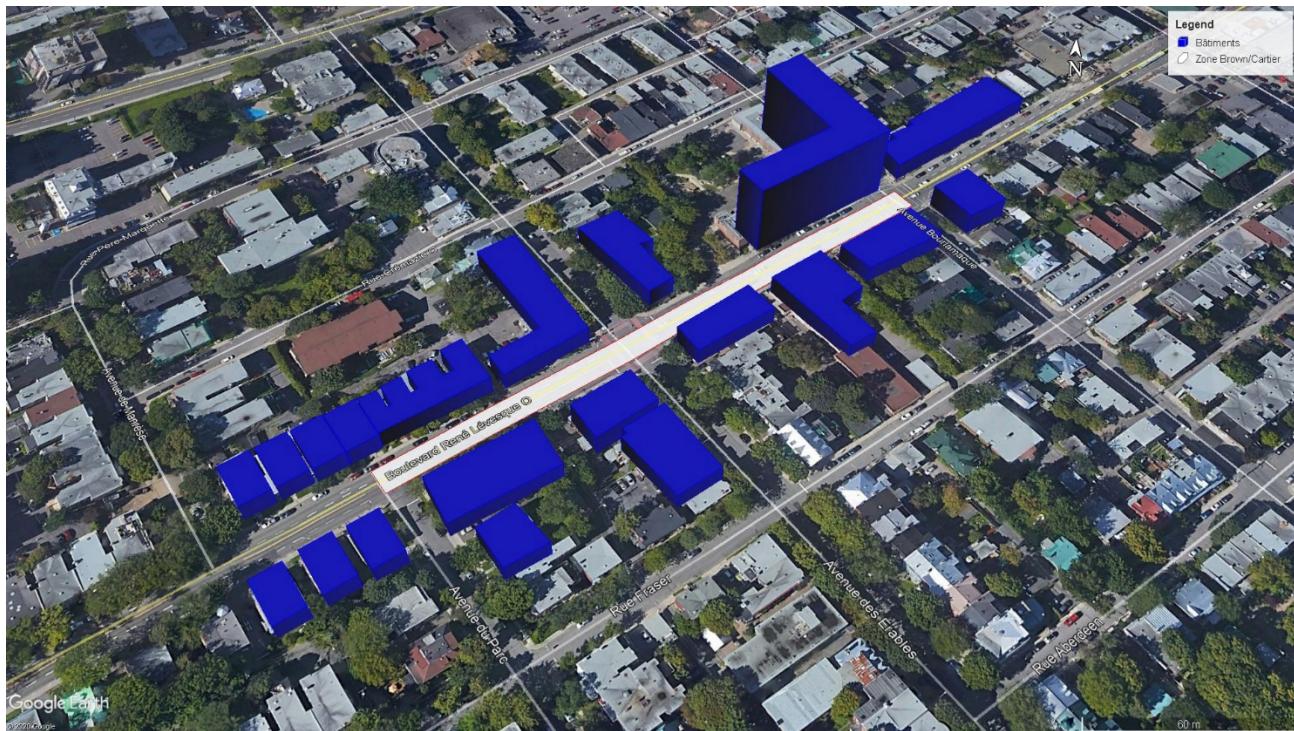


Figure 6-2 : Bâtiments considérés au secteur Brown/Cartier

7. Qualité de l'air – Normes, critères et concentrations ambiantes

7.1 Normes et critères de la qualité de l'air

Les normes et critères retenus ainsi que les concentrations ambiantes seront tirées de l'annexe K du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère du MELCC pour les fins de cette étude, à l'exception des concentrations ambiantes pour les différentes périodes du dioxyde d'azote (NO_2). Les concentrations, les normes et les critères utilisés ainsi que les concentrations initiales sont présentés au Tableau 7-1.

Tableau 7-1: Normes, critères et concentrations initiales

Contaminant	Période	Valeur limite ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration initiale (RAA) ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration mesurée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Particules en suspensions totales (PST)	24 heures	120	90	-
Particules fines ($\text{PM}_{2,5}$)	24 heures	30	20	-
Dioxyde de soufre (SO_2)	4 minutes	1 050	150	-
	24 heures	288	50	-
	Annuel	52	20	-
Dioxyde d'azote (NO_2)	1 heure	414	150	68
	24 heures	207	100	50
	Annuel	103	30	18
Monoxyde de carbone (CO)	1 heure	34 000	2 650	-
	8 heures	12 700	1 750	-
Benzo(a)pyrène (B(a)P)	Annuel	0,0009	0,0003	-

¹ MELCC, (2018). *Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère V.6*

7.2 Concentration initiale de dioxyde d'azote et d'ozone

Pour les particules et le dioxyde d'azote, les données de suivi de la qualité de l'air pour la station 3006 – Québec Vieux-Limoilou ont été considérées pour les années 2016 à 2018. Cette station est située au nord des deux chantiers, à 890 m du chantier Jardin et à 2 000 m du chantier Brown-Cartier. La station est identifiée par un triangle bleu à la Figure 7-1.

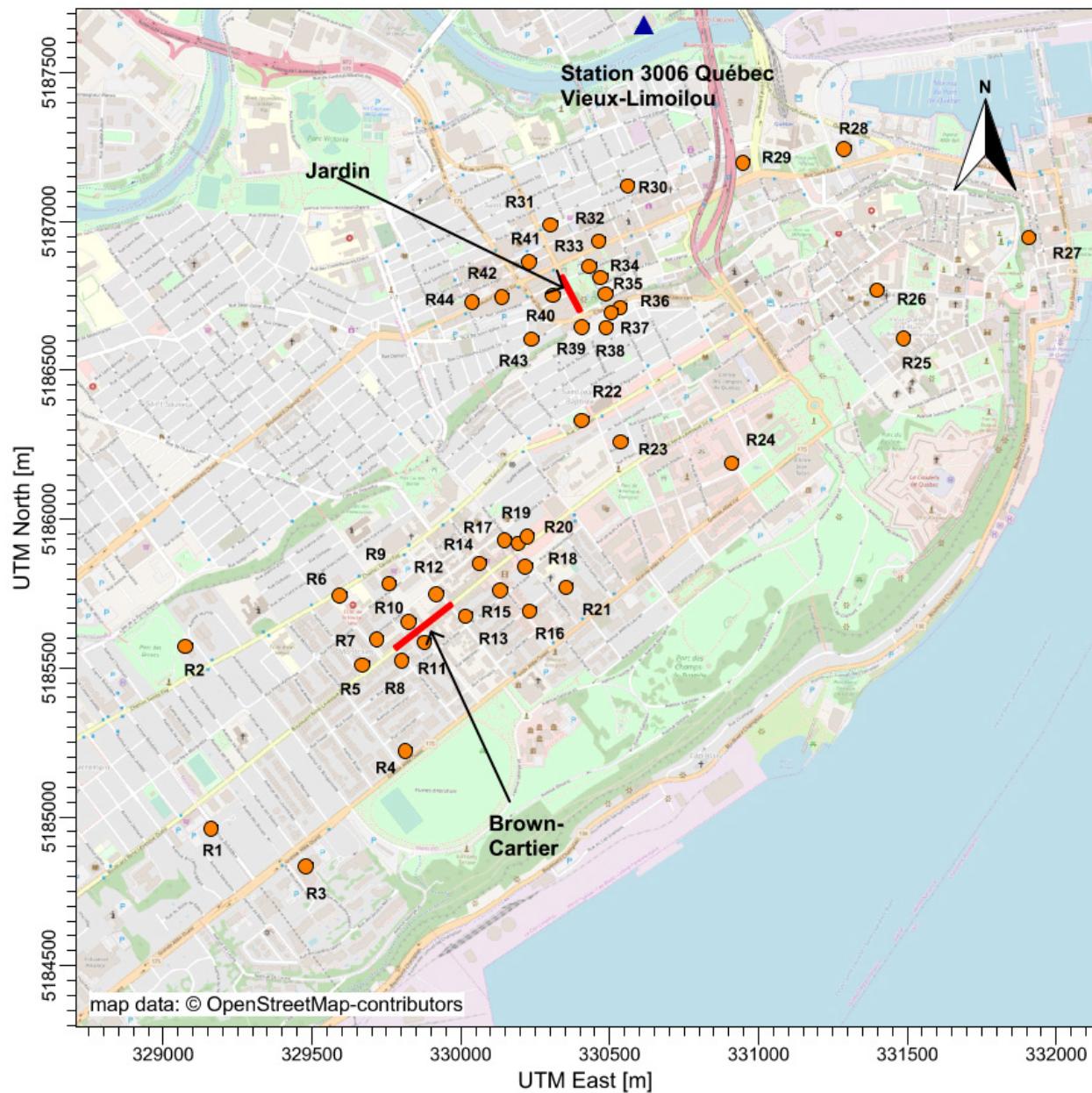


Figure 7-1 : Station de mesure 3006 - Québec Vieux-Limoilou

Les concentrations ambiantes sont calculées à partir des données mesurées à la station Vieux-Limoilou. Elles considèrent le 98^e percentile des données mesurées de chacune des années 2016 à 2018 afin de minimiser l'influence potentielle de données aberrantes. La moyenne des 98^e centiles est ensuite effectuée afin d'obtenir la concentration ambiante selon les différentes périodes. Le Tableau 7-2présente les 98^e centiles des trois années et la moyenne de ces derniers.

Tableau 7-2 : Concentrations ambiantes utilisées

Substances	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	2016	2017	2018	Moyenne
NO ₂ horaire	62	68	73	68
NO ₂ journalier	44	49	56	50
NO ₂ annuel	17	18	18	18
Ozone	94	94	102	97

8. Résultats de modélisation

8.1 Analyse des résultats

Les deux zones de travaux pour lesquelles une modélisation de la dispersion atmosphérique a été effectuée sont restreintes et situées en zone urbaine. Les sources d'émissions sont proches des limites de propriétés et les récepteurs sensibles les plus près sont à moins de 20 mètres de la zone des travaux. Ainsi, les valeurs maximales à la limite des zones de travaux semblent être particulièrement élevées. Cependant, les valeurs maximales aux récepteurs sensibles sont moins alarmantes et sont, pour la plupart, conformes avec les normes et critères de qualité de l'air. Chaque résultat de concentration calculé est comparé avec la norme ou le critère proposé par le MELCC dans la version 6 du document des normes et critères de la qualité de l'atmosphère (MELCC, 2018).

Cette section présente les valeurs maximales des contaminants aux récepteurs sensibles. Les figures présentant les contours de concentration sont disponibles à l'ANNEXE B. Seuls les contaminants normés atteignant 50% ou plus de leurs normes respectives (incluant la concentration initiale) sont présentés.

8.1.1 Particules en suspension totales (PST)

Le Tableau 8-1 présente les résultats de modélisation journaliers des PST. D'après les résultats de modélisation, il semble que les concentrations de particules en suspension totales dépassent la norme journalière à neuf récepteurs sensibles. Sur les cinq années de modélisation, la fréquence des dépassements n'est jamais supérieure 2 % pour un récepteur donné. Ces dépassements représentent 70 journées uniques sur 1 826 jours (5 années), soit une fréquence de dépassement d'environ 3,8 %. Cependant, ces dépassements ont tous lieu à la fin de l'automne et en hiver, soit durant les mois d'octobre (1 journée), novembre (8 journées), décembre (35 journées), janvier (21 journées), février (4 journées) et mars (1 journée). La neige recouvrant le sol et la température généralement sous le point de congélation réduirait grandement l'emportement des poussières causé par le transport et la manutention des matériaux pour la majorité des dépassements prédis par le modèle. Ces mois de l'année ont tendance à être propices aux précipitations (pluie ou neige) et à une chaussée humide, ce qui réduit l'emportement des poussières, une source importante de particules totales.

Tableau 8-1 : Résultats de modélisation PST

Récepteur	Coord. X	Coord. Y	Conc. initiale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. max. du modèle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. totale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% Norme (incluant conc. initiale)	Dépassements	
								Nombre	Fréq. (%)
R1	329161	5184960	90	120	3	93	77%		
R2	329075	5185572	90	120	3	93	77%		
R3	329479	5184834	90	120	4	94	78%		
R4	329813	5185221	90	120	18	108	90%		
R5	329669	5185511	90	120	21	111	93%		
R6	329593	5185743	90	120	10	100	83%		
R7	329718	5185596	90	120	41	131	109%	1	< 0,5%
R8	329802	5185525	90	120	47	137	114%	9	< 0,5%
R9	329759	5185783	90	120	11	101	84%		
R10	329825	5185655	90	120	59	149	124%	12	1%
R11	329878	5185587	90	120	87	177	148%	26	1%
R12	329918	5185748	90	120	50	140	117%	4	< 0,5%
R13	330015	5185674	90	120	63	153	127%	13	1%
R14	330062	5185852	90	120	20	110	92%		
R15	330132	5185762	90	120	31	121	101%	1	< 0,5%
R16	330230	5185692	90	120	17	107	90%		
R17	330147	5185930	90	120	15	105	88%		
R18	330216	5185840	90	120	22	112	93%		
R19	330192	5185920	90	120	16	106	88%		
R20	330223	5185941	90	120	14	104	87%		
R21	330354	5185771	90	120	13	103	86%		
R22	330406	5186333	90	120	4	94	79%		
R23	330536	5186260	90	120	5	95	79%		
R24	330910	5186188	90	120	3	93	77%		
R25	331488	5186608	90	120	2	92	77%		
R26	331398	5186770	90	120	2	92	76%		
R27	331907	5186946	90	120	2	92	76%		
R28	331287	5187244	90	120	2	92	77%		
R29	330948	5187198	90	120	5	95	79%		
R30	330561	5187121	90	120	4	94	78%		
R31	330301	5186990	90	120	12	102	85%		
R32	330463	5186935	90	120	11	101	84%		
R33	330431	5186849	90	120	26	116	97%		
R34	330468	5186812	90	120	46	136	113%	6	< 0,5%
R35	330487	5186757	90	120	45	135	112%	7	< 0,5%
R36	330536	5186711	90	120	11	101	84%		
R37	330505	5186694	90	120	13	103	86%		
R38	330487	5186644	90	120	9	99	83%		
R39	330407	5186646	90	120	19	109	91%		
R40	330309	5186752	90	120	67	157	131%	16	1%
R41	330229	5186865	90	120	14	104	86%		
R42	330137	5186747	90	120	10	100	83%		
R43	330237	5186605	90	120	21	111	92%		
R44	330039	5186729	90	120	6	96	80%		

8.1.2 Particules fines ($PM_{2.5}$)

Le Tableau 8-2 présente les résultats de modélisation journaliers des $PM_{2.5}$. D'après les résultats de modélisation, aucun dépassement n'est prévu aux récepteurs sensibles identifiés par le

projet. Les résultats aux récepteurs sensibles ne dépassent pas 76% de la norme, pour une concentration initiale représentant 67% de la norme.

Tableau 8-2 : Résultats de modélisation PM_{2.5}

Récepteur	Coord. X	Coord. Y	Conc. initiale (µg/m ³)	Norme (µg/m ³)	Conc. max. du modèle (µg/m ³)	Conc. totale (µg/m ³)	% Norme (incluant conc. initiale)
R1	329161	5184960	20	30	< 0,5	20	67%
R2	329075	5185572	20	30	< 0,5	20	67%
R3	329479	5184834	20	30	< 0,5	20	67%
R4	329813	5185221	20	30	< 0,5	20	68%
R5	329669	5185511	20	30	1	21	70%
R6	329593	5185743	20	30	< 0,5	20	67%
R7	329718	5185596	20	30	1	21	70%
R8	329802	5185525	20	30	2	22	72%
R9	329759	5185783	20	30	< 0,5	20	67%
R10	329825	5185655	20	30	2	22	72%
R11	329878	5185587	20	30	3	23	76%
R12	329918	5185748	20	30	< 0,5	20	68%
R13	330015	5185674	20	30	1	21	69%
R14	330062	5185852	20	30	< 0,5	20	68%
R15	330132	5185762	20	30	< 0,5	20	68%
R16	330230	5185692	20	30	< 0,5	20	68%
R17	330147	5185930	20	30	< 0,5	20	67%
R18	330216	5185840	20	30	< 0,5	20	68%
R19	330192	5185920	20	30	< 0,5	20	67%
R20	330223	5185941	20	30	< 0,5	20	67%
R21	330354	5185771	20	30	< 0,5	20	67%
R22	330406	5186333	20	30	< 0,5	20	67%
R23	330536	5186260	20	30	< 0,5	20	67%
R24	330910	5186188	20	30	< 0,5	20	67%
R25	331488	5186608	20	30	< 0,5	20	67%
R26	331398	5186770	20	30	< 0,5	20	67%
R27	331907	5186946	20	30	< 0,5	20	67%
R28	331287	5187244	20	30	< 0,5	20	67%
R29	330948	5187198	20	30	< 0,5	20	67%
R30	330561	5187121	20	30	< 0,5	20	67%
R31	330301	5186990	20	30	< 0,5	20	68%
R32	330463	5186935	20	30	< 0,5	20	67%
R33	330431	5186849	20	30	1	21	69%
R34	330468	5186812	20	30	1	21	70%
R35	330487	5186757	20	30	1	21	69%
R36	330536	5186711	20	30	< 0,5	20	67%
R37	330505	5186694	20	30	< 0,5	20	67%
R38	330487	5186644	20	30	< 0,5	20	68%
R39	330407	5186646	20	30	1	21	69%
R40	330309	5186752	20	30	2	22	73%
R41	330229	5186865	20	30	< 0,5	20	67%
R42	330137	5186747	20	30	< 0,5	20	68%
R43	330237	5186605	20	30	< 0,5	20	68%
R44	330039	5186729	20	30	< 0,5	20	67%

8.1.3 Dioxyde de soufre (SO_2)

Le Tableau 8-3 présente les résultats de modélisation pour les périodes 4 minutes, journalières et annuelles du dioxyde de soufre. D'après les résultats de modélisation, aucun dépassement n'est prévu aux récepteurs sensibles identifiés par le projet. Les résultats aux récepteurs sensibles ne dépassent jamais plus de 30% de la norme.

Tableau 8-3 : Résultats de modélisation SO_2

Récepteurs	Coord. X	Coord. Y	Période 4 minutes					Période journalière (24h)					Période annuelle				
			Conc. initiale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. max. du modèle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. totale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% Norme (incluant conc. initiale)	Conc. initiale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. max. du modèle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. totale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% Norme (incluant conc. initiale)	Conc. initiale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. max. du modèle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. totale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% Norme (incluant conc. initiale)
R1	329161	5184960	150	1050	4	154	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R2	329075	5185572	150	1050	3	153	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R3	329479	5184834	150	1050	7	157	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R4	329813	5185221	150	1050	16	166	16%	50	288	< 0,5	50	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R5	329669	5185511	150	1050	21	171	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R6	329593	5185743	150	1050	13	163	16%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R7	329718	5185596	150	1050	28	178	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R8	329802	5185525	150	1050	49	199	19%	50	288	2	52	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R9	329759	5185783	150	1050	44	194	18%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R10	329825	5185655	150	1050	91	241	23%	50	288	2	52	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R11	329878	5185587	150	1050	136	286	27%	50	288	4	54	19%	30	103	< 0,5	30	29%
R12	329918	5185748	150	1050	145	295	28%	50	288	4	54	19%	30	103	< 0,5	30	29%
R13	330015	5185674	150	1050	163	313	30%	50	288	5	55	19%	30	103	< 0,5	30	29%
R14	330062	5185852	150	1050	41	191	18%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R15	330132	5185762	150	1050	46	196	19%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R16	330230	5185692	150	1050	27	177	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R17	330147	5185930	150	1050	22	172	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R18	330216	5185840	150	1050	26	176	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R19	330192	5185920	150	1050	24	174	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R20	330223	5185941	150	1050	19	169	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R21	330354	5185771	150	1050	16	166	16%	50	288	< 0,5	50	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R22	330406	5186333	150	1050	17	167	16%	50	288	< 0,5	50	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R23	330536	5186260	150	1050	12	162	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R24	330910	5186188	150	1050	7	157	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R25	331488	5186608	150	1050	3	153	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R26	331398	5186770	150	1050	6	156	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R27	331907	5186946	150	1050	3	153	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R28	331287	5187244	150	1050	5	155	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R29	330948	5187198	150	1050	7	157	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R30	330561	5187121	150	1050	6	156	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R31	330301	5186990	150	1050	15	165	16%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R32	330463	5186935	150	1050	24	174	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R33	330431	5186849	150	1050	53	203	19%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R34	330468	5186812	150	1050	70	220	21%	50	288	2	52	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R35	330487	5186757	150	1050	130	280	27%	50	288	4	54	19%	30	103	< 0,5	30	29%
R36	330536	5186711	150	1050	58	208	20%	50	288	2	52	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R37	330505	5186694	150	1050	56	206	20%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R38	330487	5186644	150	1050	63	213	20%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R39	330407	5186646	150	1050	91	241	23%	50	288	3	53	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R40	330309	5186752	150	1050	132	282	27%	50	288	4	54	19%	30	103	< 0,5	30	29%
R41	330229	5186865	150	1050	13	163	16%										

8.1.4 Dioxyde d'azote (NO₂)

Le Tableau 8-4 présente les résultats de modélisation horaires, journaliers et annuels du NO₂ aux récepteurs sensibles. La modélisation montre qu'aucun dépassement n'est observé aux récepteurs sensibles. Les concentrations totales maximales annuelles sont inférieures à 30% de la norme. Un seul récepteur sensible atteint plus de 50% de la norme journalière. Deux récepteurs sensibles sont à plus de 80% de la norme horaire.

Tableau 8-4 : Résultats de modélisation NO₂

Récepteurs	Coord. X	Coord. Y	Période horaire (1 heure)					Période journalière (24h)					Période annuelle				
			Conc. initiale (µg/m ³)	Norme (µg/m ³)	Maximum du modèle (µg/m ³)	Conc. totale (µg/m ³)	% Norme (incluant conc. initiale)	Conc. initiale (µg/m ³)	Norme (µg/m ³)	Maximum du modèle (µg/m ³)	Conc. totale (µg/m ³)	% Norme (incluant conc. initiale)	Conc. initiale (µg/m ³)	Norme (µg/m ³)	Maximum du modèle (µg/m ³)	Conc. totale (µg/m ³)	% Norme (incluant conc. initiale)
R1	329161	5184960	68	414	27	95	23%	50	207	3	53	26%	18	103	< 1	18	18%
R2	329075	5185572	68	414	13	81	20%	50	207	2	52	25%	18	103	< 1	18	18%
R3	329479	5184834	68	414	36	104	25%	50	207	6	56	27%	18	103	< 1	18	18%
R4	329813	5185221	68	414	52	120	29%	50	207	10	60	29%	18	103	1	19	19%
R5	329669	5185511	68	414	124	192	46%	50	207	28	78	38%	18	103	3	21	21%
R6	329593	5185743	68	414	70	138	33%	50	207	6	56	27%	18	103	< 1	18	18%
R7	329718	5185596	68	414	175	243	59%	50	207	29	79	38%	18	103	4	22	22%
R8	329802	5185525	68	414	168	236	57%	50	207	35	85	41%	18	103	6	24	24%
R9	329759	5185783	68	414	89	157	38%	50	207	6	56	27%	18	103	< 1	19	18%
R10	329825	5185655	68	414	288	356	86%	50	207	34	84	41%	18	103	5	23	23%
R11	329878	5185587	68	414	253	321	77%	50	207	55	105	51%	18	103	11	29	28%
R12	329918	5185748	68	414	237	305	74%	50	207	26	76	37%	18	103	4	22	21%
R13	330015	5185674	68	414	241	309	75%	50	207	32	82	40%	18	103	5	23	23%
R14	330062	5185852	68	414	93	161	39%	50	207	15	65	31%	18	103	1	19	19%
R15	330132	5185762	68	414	119	187	45%	50	207	15	65	32%	18	103	2	20	20%
R16	330230	5185692	68	414	77	145	35%	50	207	10	60	29%	18	103	1	19	19%
R17	330147	5185930	68	414	56	124	30%	50	207	11	61	30%	18	103	< 1	19	18%
R18	330216	5185840	68	414	83	151	36%	50	207	14	64	31%	18	103	1	19	19%
R19	330192	5185920	68	414	65	133	32%	50	207	8	58	28%	18	103	< 1	19	18%
R20	330223	5185941	68	414	56	124	30%	50	207	7	57	28%	18	103	< 1	19	18%
R21	330354	5185771	68	414	48	116	28%	50	207	6	56	27%	18	103	< 1	19	18%
R22	330406	5186333	68	414	52	120	29%	50	207	8	58	28%	18	103	< 1	19	18%
R23	330536	5186260	68	414	50	118	29%	50	207	4	54	26%	18	103	< 1	18	18%
R24	330910	5186188	68	414	21	89	22%	50	207	2	52	25%	18	103	< 1	18	18%
R25	331488	5186608	68	414	14	82	20%	50	207	2	52	25%	18	103	< 1	18	18%
R26	331398	5186770	68	414	20	88	21%	50	207	2	52	25%	18	103	< 1	18	18%
R27	331907	5186946	68	414	12	80	19%	50	207	2	52	25%	18	103	< 1	18	18%
R28	331287	5187244	68	414	20	88	21%	50	207	3	53	26%	18	103	< 1	18	18%
R29	330948	5187198	68	414	32	100	24%	50	207	4	54	26%	18	103	< 1	18	18%
R30	330561	5187121	68	414	30	98	24%	50	207	4	54	26%	18	103	< 1	18	18%
R31	330301	5186990	68	414	79	147	36%	50	207	9	59	28%	18	103	< 1	18	18%
R32	330463	5186935	68	414	56	124	30%	50	207	8	58	28%	18	103	1	19	18%
R33	330431	5186849	68	414	104	172	42%	50	207	21	71	34%	18	103	4	22	21%
R34	330468	5186812	68	414	213	281	68%	50	207	36	86	42%	18	103	7	25	24%
R35	330487	5186757	68	414	221	289	70%	50	207	27	77	37%	18	103	4	22	22%
R36	330536	5186711	68	414	133	201	49%	50	207	9	59	28%	18	103	1	19	19%
R37	330505	5186694	68	414	128	196	47%	50	207	9	59	29%	18	103	1	19	19%
R38	330487	5186644	68	414	131	199	48%	50	207	13	63	31%	18	103	1	19	18%
R39	330407	5186646	68	414	264	332	80%	50	207	31	81	39%	18	103	3	21	20%
R40	330309	5186752	68	414	235	303	73%	50	207	39	89	43%	18	103	12	30	30%
R41	330229	5186865	68	414	66	134	32%	50	207	8	58	28%	18	103	< 1	19	18%
R42	330137	5186747	68	414	67	135	33%	50	207	11	61	29%	18	103	2	20	19%
R43	330237	5186605	68	414	85	153	37%	50	207	16	66	32%	18	103	2	20	19%
R44	330039	5186729	68	414	47	115	28%	50	207	7</							

8.1.5 Monoxyde de carbone (CO)

Le Tableau 8-5 présente les résultats de modélisation pour les périodes horaires et 8 heures du monoxyde de carbone. D'après les résultats de modélisation, aucun dépassement n'est prévu aux récepteurs sensibles identifiés par le projet. Les résultats aux récepteurs sensibles ne dépassent jamais plus de 22% de la norme des deux périodes.

Tableau 8-5 : Résultats de modélisation CO

Récepteur	Coord. X	Coord. Y	Période horaire (1 heure)					Période 8 heures				
			Concentration initiale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration max. du modèle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration totale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% Norme (incluant concentration initiale)	Concentration initiale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration max. du modèle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration totale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% Norme (incluant concentration initiale)
R1	329161	5184960	2 650	34 000	184	2 834	8%	1 750	12 700	48	1 798	14%
R2	329075	5185572	2 650	34 000	86	2 736	8%	1 750	12 700	16	1 766	14%
R3	329479	5184834	2 650	34 000	261	2 911	9%	1 750	12 700	61	1 811	14%
R4	329813	5185221	2 650	34 000	380	3 030	9%	1 750	12 700	131	1 881	15%
R5	329669	5185511	2 650	34 000	985	3 635	11%	1 750	12 700	361	2 111	17%
R6	329593	5185743	2 650	34 000	582	3 232	10%	1 750	12 700	122	1 872	15%
R7	329718	5185596	2 650	34 000	1595	4 245	12%	1 750	12 700	604	2 354	19%
R8	329802	5185525	2 650	34 000	1553	4 203	12%	1 750	12 700	705	2 455	19%
R9	329759	5185783	2 650	34 000	601	3 251	10%	1 750	12 700	108	1 858	15%
R10	329825	5185655	2 650	34 000	3382	6 032	18%	1 750	12 700	880	2 630	21%
R11	329878	5185587	2 650	34 000	2522	5 172	15%	1 750	12 700	1101	2 851	22%
R12	329918	5185748	2 650	34 000	1730	4 380	13%	1 750	12 700	281	2 031	16%
R13	330015	5185674	2 650	34 000	1753	4 403	13%	1 750	12 700	461	2 211	17%
R14	330062	5185852	2 650	34 000	608	3 258	10%	1 750	12 700	109	1 859	15%
R15	330132	5185762	2 650	34 000	799	3 449	10%	1 750	12 700	250	2 000	16%
R16	330230	5185692	2 650	34 000	493	3 143	9%	1 750	12 700	135	1 885	15%
R17	330147	5185930	2 650	34 000	369	3 019	9%	1 750	12 700	79	1 829	14%
R18	330216	5185840	2 650	34 000	592	3 242	10%	1 750	12 700	106	1 856	15%
R19	330192	5185920	2 650	34 000	441	3 091	9%	1 750	12 700	74	1 824	14%
R20	330223	5185941	2 650	34 000	376	3 026	9%	1 750	12 700	65	1 815	14%
R21	330354	5185771	2 650	34 000	312	2 962	9%	1 750	12 700	80	1 830	14%
R22	330406	5186333	2 650	34 000	303	2 953	9%	1 750	12 700	53	1 803	14%
R23	330536	5186260	2 650	34 000	230	2 880	8%	1 750	12 700	41	1 791	14%
R24	330910	5186188	2 650	34 000	140	2 790	8%	1 750	12 700	23	1 773	14%
R25	331488	5186608	2 650	34 000	68	2 718	8%	1 750	12 700	14	1 764	14%
R26	331398	5186770	2 650	34 000	142	2 792	8%	1 750	12 700	34	1 784	14%
R27	331907	5186946	2 650	34 000	60	2 710	8%	1 750	12 700	13	1 763	14%
R28	331287	5187244	2 650	34 000	117	2 767	8%	1 750	12 700	23	1 773	14%
R29	330948	5187198	2 650	34 000	147	2 797	8%	1 750	12 700	30	1 780	14%
R30	330561	5187121	2 650	34 000	150	2 800	8%	1 750	12 700	38	1 788	14%
R31	330301	5186990	2 650	34 000	433	3 083	9%	1 750	12 700	114	1 864	15%
R32	330463	5186935	2 650	34 000	404	3 054	9%	1 750	12 700	79	1 829	14%
R33	330431	5186849	2 650	34 000	744	3 394	10%	1 750	12 700	217	1 967	15%
R34	330468	5186812	2 650	34 000	1014	3 664	11%	1 750	12 700	322	2 072	16%
R35	330487	5186757	2 650	34 000	1595	4 245	12%	1 750	12 700	350	2 100	17%
R36	330536	5186711	2 650	34 000	937	3 587	11%	1 750	12 700	171	1 921	15%
R37	330505	5186694	2 650	34 000	932	3 582	11%	1 750	12 700	133	1 883	15%
R38	330487	5186644	2 650	34 000	944	3 594	11%	1 750	12 700	215	1 965	15%
R39	330407	5186646	2 650	34 000	1688	4 338	13%	1 750	12 700	334	2 084	16%
R40	330309	5186752	2 650	34 000	1722	4 372	13%	1 750	12 700	473	2 223	18%
R41	330229	5186865	2 650	34 000	430	3 080	9%	1 750	12 700	134	1 884	15%
R42	330137	5186747	2 650	34 000	495	3 145	9%	1 750	12 700	110	1 860	15%
R43	330237	5186605	2 650	34 000	638	3 288	10%	1 750	12 700	163	1 913	15%
R44	330039	5186729	2 650	34 000	342	2 992	9%	1 750	12 700	69	1 819	14%

8.1.6 *Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)*

Le Tableau 8-6 présente les résultats de modélisation annuelle des HAP. La concentration de HAP dans l'air ambiant peut être exprimée en équivalent toxique du benzo(a)pyrène (B(a)P). D'après les résultats de modélisation, aucun dépassement n'est prévu aux récepteurs sensibles identifiés par le projet. Les résultats aux récepteurs sensibles ne dépassent pas 45% de la norme, pour une concentration initiale représentant 33% de la norme.

Tableau 8-6 : Résultats de modélisation HAP

Récepteur	Coord. X	Coord. Y	Concentration initiale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration maximale du modèle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration totale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% Norme (incluant concentration initiale)
R1	329161	5184960	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	33%
R2	329075	5185572	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	33%
R3	329479	5184834	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R4	329813	5185221	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R5	329669	5185511	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	37%
R6	329593	5185743	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R7	329718	5185596	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	37%
R8	329802	5185525	0,0003	0,0009	0,0001	0,0004	42%
R9	329759	5185783	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R10	329825	5185655	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	37%
R11	329878	5185587	0,0003	0,0009	0,0001	0,0004	43%
R12	329918	5185748	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	35%
R13	330015	5185674	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	37%
R14	330062	5185852	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R15	330132	5185762	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	35%
R16	330230	5185692	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R17	330147	5185930	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R18	330216	5185840	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R19	330192	5185920	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R20	330223	5185941	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R21	330354	5185771	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R22	330406	5186333	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R23	330536	5186260	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R24	330910	5186188	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R25	331488	5186608	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	33%
R26	331398	5186770	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	33%
R27	331907	5186946	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	33%
R28	331287	5187244	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R29	330948	5187198	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R30	330561	5187121	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R31	330301	5186990	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R32	330463	5186935	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R33	330431	5186849	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	36%
R34	330468	5186812	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	39%
R35	330487	5186757	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	37%
R36	330536	5186711	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R37	330505	5186694	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R38	330487	5186644	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R39	330407	5186646	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	35%
R40	330309	5186752	0,0003	0,0009	0,0001	0,0004	45%
R41	330229	5186865	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R42	330137	5186747	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%
R43	330237	5186605	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	35%
R44	330039	5186729	0,0003	0,0009	< 0,00005	0,0003	34%

8.1.7 Particules fines provenant de la combustion de diesel (PM_{2.5})

Le Tableau 8-7 présente les résultats de modélisation journalière des PM_{2.5} provenant de la combustion du diesel par les équipements mobiles. Il n'existe pas de normes ou critères régissant l'exposition aux particules fines provenant de la combustion de diesel par des équipements mobiles spécifiquement. Les résultats ci-dessous sont donc comparés à la norme sur les particules fines (PM_{2.5}) à titre indicatif seulement.

Tableau 8-7 : Résultats de modélisation PM_{2.5}

Récepteur	Coord. X	Coord. Y	Concentration initiale (µg/m ³)	Norme (µg/m ³)	Concentration maximale du modèle (µg/m ³)	Concentration totale (µg/m ³)	% Norme (inclusant concentration initiale)
R1	329161	5184960	20	30	< 0,5	20	67%
R2	329075	5185572	20	30	< 0,5	20	67%
R3	329479	5184834	20	30	< 0,5	20	67%
R4	329813	5185221	20	30	< 0,5	20	68%
R5	329669	5185511	20	30	1	21	70%
R6	329593	5185743	20	30	< 0,5	20	67%
R7	329718	5185596	20	30	1	21	70%
R8	329802	5185525	20	30	2	22	72%
R9	329759	5185783	20	30	< 0,5	20	67%
R10	329825	5185655	20	30	2	22	72%
R11	329878	5185587	20	30	3	23	76%
R12	329918	5185748	20	30	< 0,5	20	68%
R13	330015	5185674	20	30	1	21	69%
R14	330062	5185852	20	30	< 0,5	20	68%
R15	330132	5185762	20	30	< 0,5	20	68%
R16	330230	5185692	20	30	< 0,5	20	68%
R17	330147	5185930	20	30	< 0,5	20	67%
R18	330216	5185840	20	30	< 0,5	20	68%
R19	330192	5185920	20	30	< 0,5	20	67%
R20	330223	5185941	20	30	< 0,5	20	67%
R21	330354	5185771	20	30	< 0,5	20	67%
R22	330406	5186333	20	30	< 0,5	20	67%
R23	330536	5186260	20	30	< 0,5	20	67%
R24	330910	5186188	20	30	< 0,5	20	67%
R25	331488	5186608	20	30	< 0,5	20	67%
R26	331398	5186770	20	30	< 0,5	20	67%
R27	331907	5186946	20	30	< 0,5	20	67%
R28	331287	5187244	20	30	< 0,5	20	67%
R29	330948	5187198	20	30	< 0,5	20	67%
R30	330561	5187121	20	30	< 0,5	20	67%
R31	330301	5186990	20	30	< 0,5	20	68%
R32	330463	5186935	20	30	< 0,5	20	67%
R33	330431	5186849	20	30	1	21	69%
R34	330468	5186812	20	30	1	21	70%
R35	330487	5186757	20	30	1	21	69%
R36	330536	5186711	20	30	< 0,5	20	67%
R37	330505	5186694	20	30	< 0,5	20	67%
R38	330487	5186644	20	30	< 0,5	20	68%
R39	330407	5186646	20	30	1	21	69%
R40	330309	5186752	20	30	2	22	73%
R41	330229	5186865	20	30	< 0,5	20	67%
R42	330137	5186747	20	30	< 0,5	20	68%
R43	330237	5186605	20	30	< 0,5	20	68%
R44	330039	5186729	20	30	< 0,5	20	67%

9. Conclusion

La construction du tramway de Québec émettra certains contaminants atmosphériques, notamment lors de la construction de la partie souterraine du tracé. Afin d'analyser les impacts de cette construction sur la qualité de l'air, une modélisation de la dispersion atmosphérique a été effectuée conformément au *Guide de la modélisation de la dispersion atmosphérique* du MELCC (Leduc, 2005). La demande initiale du MELCC était de modéliser, les particules en suspensions totales (PST), les particules fines (PM_{2.5}), le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde de carbone (CO). Puis, dans un second temps, le MELCC a demandé d'ajouter à la modélisation, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les particules fines provenant de la combustion du diesel.

Les principales sources d'émissions sont l'emportement des poussières causé par le transport des matériaux, le dynamitage et les chargements de matériaux dans les camions. Quelques dépassements des normes sont observés pour les PST.

Les dépassements de PST représentent 70 journées uniques sur 1 826 jours (5 années – ce qui représente le pire scénario), soit une fréquence de dépassement d'environ 3,8 %. En revanche, ces dépassements ont tous lieu à la fin de l'automne et en hiver, de fin octobre à début mars. Compte tenu du couvert neigeux qui existe habituellement à Québec durant les mois de décembre à mars, une réduction des émissions par emportement de poussières devrait être observée pour la majorité des dépassements. De plus, il est important de noter que la modélisation tient compte de plusieurs sources d'émissions qui fonctionnent en même temps (pire scénario), ce qui en réalité, serait très peu probable.

Des mesures de d'atténuation, tel que l'arrosage, ont été employées afin de réduire les émissions de particules dans l'exercice de modélisation. De plus, d'autres mesures d'atténuation présentées dans l'étude d'impact, tel le nettoyage des chemins d'accès ou les limites de vitesse sur le chantier, n'ont pas été tenues pour compte dans la modélisation mais aiderait également à la réduction des émissions de particules.

Étant donné la faible quantité de dépassements enregistrés par le modèle, il est suggéré de mettre en place un système de suivi de la qualité de l'air sur les chantiers de construction des tunnels afin d'enregistrer les concentrations de particules en continu et de modifier les activités lorsque les concentrations sont trop élevées, ce qui correspondrait à moins de 3,8% du temps selon les résultats de la modélisation. Plus de détails sur la méthodologie de suivi de la qualité de l'air seront fournis dans le plan de gestion de la qualité de l'air qui sera développé par l'entrepreneur dans la prochaine phase du projet.

À l'exception des dépassements de normes pour les PST, l'impact de la construction du projet sur la qualité de l'air est prévu comme étant faible considérant les autres contaminants modélisés.

Les activités de construction du tunnel sont temporaires et ne devraient pas durer plus de deux ans. Ainsi, ces activités ne causeront pas d'impacts permanents ou à long terme sur la qualité de l'air à proximité des sites de construction. L'entrepreneur devra fournir un engagement selon lequel il ne fera pas de pile d'entreposage de matériel.

Afin d'assurer un bon contrôle de la qualité de l'air en phase construction, un plan de gestion de la qualité de l'air sera préparé et mis en place lors de la construction du projet. Ce plan de gestion doit au minimum inclure les différentes mesures d'atténuation à mettre en place en incluant celles

présentées dans ce rapport à la section 5.2. Ce plan de gestion devra également proposer des activités de suivi et de surveillance de la qualité de l'air pour les particules (PM_{2.5} et PST).

10. Bibliographie

- Leduc, R. (2005). *Guide de la modélisation de la dispersion atmosphérique*. Récupéré sur environnement.gouv.qc.ca: <http://www.environnement.gouv.qc.ca/air/atmosphere/guide-mod-dispersion.pdf>
- Malone, E., & Bernardo, M. (2019, Mai). *Blasting at Surface Mines*. Récupéré sur cleanairinfo: http://www.cleanairinfo.com/regionalstatelocalmodelingworkshop/archive/2019/Modelers%20Workshop/Presentations/2-13_2019%20RSL%20Presentation.pdf
- MELCC. (2018). *Normes et critères québécois de qualité de l'atmosphère, version 6*. Récupéré sur Direction des avis et des expertises: www.environnement.gouv.qc.ca/air/criteres/index.htm
- Nonthakarn, P., & Ekpanyapong, M. &. (2019, Août 15). *Design and Optimization of an Integrated Turbo-Generator and Thermolectric Generator for Vehicle Exhaust Electrical Energy Recovery*. Récupéré sur MDPI: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/16/3134>
- San Joaquin Valley . (2010, 03 25). *Road Modelling Using AERMOD*. Consulté le 08 11, 2016, sur <https://www.valleyair.org/Workshops/postings/2010/03-25-10/CEQA%20HRA%20Guidelines%20Part%203%20-%20SJ%20Roadway.pdf>
- Thielen, H., & Schröld, E. (2004, November). *3.10_blast_experiments_dirty_bomb_thielen_041109*. Récupéré sur Eurosafe-forum: https://www.eurosafe-forum.org/sites/default/files/pe_103_24_1_3_10_blast_experiments_dirty_bomb_thielen_041109.pdf
- Trinity Consultants. (2007). *MODELING FUGITIVE DUST SOURCES WITH AERMOD*. National Stone, Sand and Gravel Association.
- Ville de Québec. (2020). *Ville de Québec*. Récupéré sur Portrait - Quartiers: https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/portrait/quelques_chiffres/quartiers/index.aspx

ANNEXE A
Bases de calcul



1. Méthodologie et hypothèses

Les travaux de construction seront effectués selon la même méthodologie, et ce, pour les deux sites considérés. En effet, il y aura deux sorties de matériaux excavés pour la construction du tunnel. Les activités de construction seront donc concentrées aux entrées et sorties du tunnel, soit dans le secteur des rues Brown-Cartier ainsi que dans le secteur du Jardin Jean-Paul L'Allier. Il y aura donc deux zones de sources d'émissions atmosphériques pour ce modèle.

Afin de calculer les taux d'émissions, plusieurs hypothèses ont été considérées dans les bases de calcul. Une liste des hypothèses générales de calcul est présentée ci-dessous :

- Durée des travaux : 588 jours
- Heures de construction par jour : 24 heures

Comme les activités de construction varient selon l'échéancier, les études de dispersion atmosphériques ont été réalisées selon les taux horaires d'émissions pour les activités de construction qui constituent le pire scénario envisageable. La méthodologie de calcul pour chaque type de source est présentée dans les sections qui suivent.

2. Sources d'émission aux chantiers

Pour les deux sites de construction faisant l'objet d'une modélisation, les hypothèses suivantes ont été considérées pour les sources d'émissions :

- Aucune érosion éolienne de piles de matériaux est considérée étant donné que le roc de taille grossière sera difficilement emporté par le vent;
- Les matériaux excavés seront acheminés à l'extérieur du site en empruntant le Boulevard Charest suivi de la Rue du Pont jusqu'à l'autoroute 40;
- Les émissions de la circulation des camions seront considérées jusqu'à ce que les camions atteignent l'autoroute 40 étant donné que les taux de silt sont inférieurs sur les routes à fort débit de circulation et que les émissions des camions seront négligeables par rapport aux émissions existantes sur l'autoroute.

Les variables pour le calcul des poussières ont été déterminées selon les valeurs moyennes proposées par le US EPA et Environnement Canada. Le Tableau 2-1 présente certains paramètres retenus dans les équations.

Tableau 2-1: Variables utilisées pour les calculs d'émissions de particules

Variable	Unités	Valeur	Source
Capacité des camions	Tonnes	16	Valeur moyenne – CAT740
Capacité des chargeuses	m^3	5	Valeur moyenne – CAT938M
Humidité du roc	%	5,0	Hypothèse – Tunnel excavé sous la nappe phréatique; le roc sera plus humide
Humidité du sol exposé	%	3,4	Valeur moyenne de l'AP-42 pour le sol exposé (US EPA)
Vitesse moyenne du vent	m/s	3,96	Données météorologiques de surface à l'aéroport Jean-Lesage (Moyenne de 2008-2012)
Contenu en silt des routes non pavées	%	8,5	AP-42 Tableau 13.2.2-1 Construction Site (US EPA)
Contenu en silt des routes pavées au chantier	g/m^2	8,2	Valeur moyenne AP-42 Tableau 13.2.1-3 – Carrières (US EPA)
Contenu en silt des routes pavées secondaires	g/m^2	0,6	Valeur moyenne AP-42 (NYS Department of Environmental Conservation)

Les taux d'émissions ont été calculés en considérant des émissions en continu durant une journée entière ou un sautage. Puis, selon l'horaire prévu des travaux, ces taux d'émissions sont activés grâce aux options d'émissions variables d'AERMOD (voir section 3).

2.1

Gaz d'échappement des équipements mobiles

Les équipements mobiles utilisés sur les deux chantiers considérés sont les suivants:

- Un bouteur (utilisation temporaire pour la préparation du site);
- Une excavatrice (utilisation temporaire pour construction d'un mur étanche);
- Une chargeuse pour la manutention des matériaux.

Pour éviter que le tunnel se remplisse d'eau lors de la construction et que l'eau du site soit drainée vers le tunnel, un mur étanche sera construit au tout début des activités de construction sur le site. Pour cette activité, une excavatrice sera utilisée. Lorsque les travaux pour la construction du tunnel commenceront, une chargeuse sera utilisée pour effectuer le transfert des matériaux de la tranchée et du tunnel jusqu'aux camions qui permettront d'acheminer les matériaux excavés à l'extérieur du site. Les facteurs d'émissions utilisés pour déterminer les charges de contaminants dans le gaz d'échappement des véhicules mobiles sont ceux proposés par le US EPA pour les différentes puissances de moteur. Pour le projet, il a été assumé que tous les moteurs sont conformes aux normes d'émission TIER 4. Les taux d'émissions sont présentés dans le tableau qui suit.

Tableau 2-1 : Facteurs d'émissions pour les sources mobiles selon la puissance (US EPA)

Contaminants	Unités	Puissance de 56 à 130 kW	Puissance de 130 à 560 kW
CO	g/kWh	5,0	3,5
NOx	g/kWh	0,4	0,4
SO2	g/kWh	0,007	0,007
PTS	g/kWh	0,02	0,02

Ainsi, pour la chargeuse, les paramètres suivants ont été utilisés afin de calculer les gaz d'échappement.

Tableau 2-2 : Paramètres de la chargeuse

Item	Unités	Valeur	Source
Nombre d'équipement	-	1	Étude d'impact sur l'environnement (AECOM)
Puissance	kW	140	CAT938M
Facteur de puissance	-	0,59	US EPA (2010). Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling NR-005d

Pour le monoxyde de carbone, le taux d'émission horaire est calculé comme suit :

$$\begin{aligned}
 Taux_{exhaust,CO} \left(\frac{g}{s} \right) &= Nb \text{ équipement} * Puissance (kW) * facteur puissance \\
 &\quad * facteur émission \left(\frac{g}{kWh} \right) * \frac{1h}{3600s} \\
 &= 1 * 140 \text{ kW} * 0,59 * 3,5 \frac{g}{kWh} * \frac{1h}{3600s} = 0,08 \frac{g}{s}
 \end{aligned}$$

La même méthodologie d'évaluation des gaz de combustion est appliquée aux autres équipements mobiles du site.

2.1.1

Cas particuliers – Hydrocarbures polycycliques aromatiques

Les facteurs d'émissions des HAP provenant de la combustion du diesel dans les équipements mobiles ont été obtenus par MOVES, pour des équipements en mode stationnaire (« idle ») et en mouvement (camion). Les facteurs d'émissions des HAP reconnus par le MELCC sont multipliés par leurs facteurs de toxicité afin d'avoir un seul facteur d'émission équivalent HAP dont les résultats pourront être comparés à la norme annuelle du benzo(a)pyrène. Le facteur équivalent est exprimé en g/s pour les équipements stationnaires et en g/VKT pour les équipements en mouvement. Enfin, le taux d'émission est calculé selon la même méthodologie que pour les gaz d'échappement.

2.2

Gaz d'échappement des sources fixes

Peu de sources fixes sont prévues sur les deux chantiers de construction. Des tours d'éclairages alimentées par des génératrices sont prévues sur les sites afin de fournir l'éclairage nécessaire et d'alimenter certains équipements en énergie lorsque requis. De plus, un nettoyeur à haute pression est prévu pour faciliter le lavage des véhicules circulant sur le site. Additionnellement, les nacelles et les grues utilisées lors de la phase de construction ont également été considérés comme des sources fixes. Les facteurs d'émissions considérées pour ces sources sont ceux des sources de combustion stationnaires pour la combustion du diesel. La Figure 3-1 présente les taux d'émission en fonction de la puissance et des normes d'émission (TIER) des équipements.

EPA Stationary Diesel Genset Emissions Limits and Timing

(engines < 10 liters per cylinder)

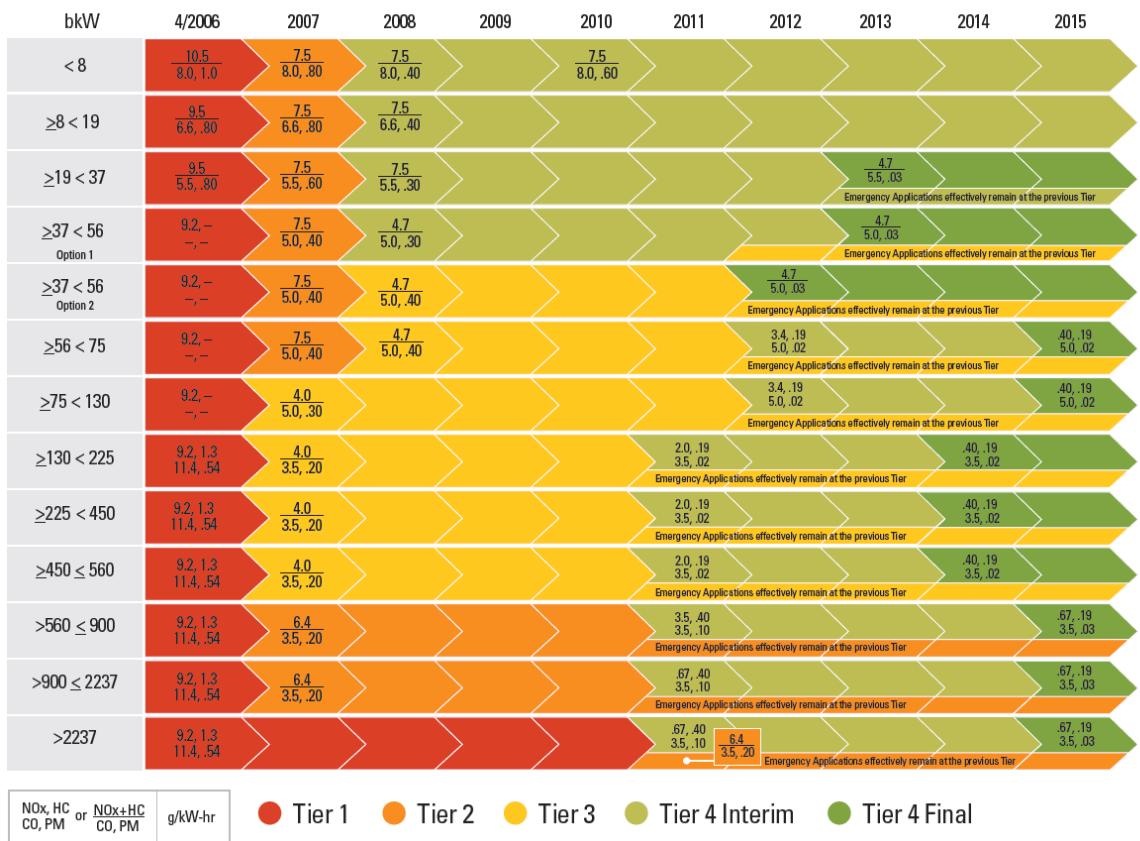


Figure 3-1: Taux d'émissions de génératrices au diesel (US EPA)

Afin de déterminer les taux d'émissions des gaz d'échappement des sources fixes, l'équation présentée à la section 2.1 peut être réutilisée. Pour la grue, les paramètres suivants ont été utilisés :

Tableau 2-3 : Paramètres de la grue

Item	Unités	Valeur	Source
Nombre d'équipement	-	1	Étude d'impact sur l'environnement (AECOM)
Puissance	kW	450	HS 855 HD
Facteur de puissance	-	0,43	US EPA (2010). Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling NR-005d
Temps d'opération	h/jour	24	Hypothèse

Pour le monoxyde de carbone, le taux d'émission horaire est calculé comme suit :

$$\begin{aligned}
Taux_{exhaust,CO} \left(\frac{g}{s} \right) &= Nb \text{ équipement} * Puissance (kW) * facteur puissance \\
&* facteur émission \left(\frac{g}{kWh} \right) * \frac{1h}{3600s} \\
&= 1 * 450 \text{ kW} * 0,43 * 3,5 \frac{g}{kWh} * \frac{1h}{3600s} = 0,19 \frac{g}{s}
\end{aligned}$$

2.2.1

Cas particuliers – Hydrocarbures polycycliques aromatiques

Les facteurs d'émissions des HAP provenant de la combustion du diesel dans les équipements fixes ayant un moteur à combustion ont été obtenu au chapitre 3.3 *Gasoline and Diesel Industrial Engines* de l'AP-42 (US EPA, 1996). Les facteurs d'émissions des HAP du tableau 3.3-2 reconnus par le MELCC sont multipliés par leurs facteurs de toxicité afin d'avoir un seul facteur d'émission équivalent HAP dont les résultats pourront être comparés à la norme annuelle du benzo(a)pyrène. Le facteur équivalent est exprimé en lb/MMBtu. Afin de transformer ce facteur d'émission en taux d'émission, il d'abord connaître la quantité d'énergie consommé par les équipements. Pour ce faire, les consommations de carburant suivantes ont été utilisées.

Tableau 2-4 : Consommation de carburant

Item	Unités	Valeur	Source
Chargeuse CAT938M	L/h	15	CAT Resources
Bouteur D6	L/h	19	D6
Excavatrice CAT318	L/h	15	CAT 320D
Nacelle	L/h	8	Genie Boom Z45
Grue	L/h	18	Crane TATA 955ALC
Tour éclairage	L/h	2	Kubota tour éclairage
Nettoyeur à haute-pression	L/h	2	Hypothèse (similaire aux tours d'éclairage)

Sachant que la valeur calorifique du diesel (C_P) est de 43 MJ/kg (IPCC, 2006) et que sa densité est d'environ 876 g/L (Knovel), il est possible de convertir la consommation de carburant en consommation d'énergie par heure (Btu/h). Finalement, pour obtenir le taux d'émission de HAP équivalent, il faut multiplier la consommation d'énergie par le facteur d'émission.

$$\begin{aligned}
Taux_{HAP} \left(\frac{g}{s} \right) &= Nb \text{ équipement} * Consommation \left(\frac{L}{h} \right) * C_P \left(\frac{Btu}{L} \right) \\
&* facteur émission \left(\frac{g}{Btu} \right) * facteur puissance * \frac{1h}{3600s} \\
&= 1 * 15 \frac{L}{h} * 35\,702 \frac{Btu}{L} * 1,6 \times 10^{-9} \frac{g}{Btu} * 0,59 * \frac{1h}{3600s} = 1,6 \times 10^{-9} \frac{g}{s}
\end{aligned}$$

2.3

Émissions provenant du sautage

Les facteurs d'émission reliés au sautage ont été tirés du chapitre 13.3 de l'AP-42 du US EPA (US EPA, 2005), de la méthode d'*Estimation des émissions générées par la détonation d'explosifs et des champs de tirs* du Gouvernement Australien (Australian DEE, 2016) et du *Guide de déclaration des carrières et sablières* du Gouvernement du Canada (Gouvernement du Canada, 2017). Il est supposé qu'une proportion égale d'explosifs de type ANFO et émulsion est utilisée lors des sautages et que la superficie de sautage est de 75 m². Les gaz de combustions sont évalués par les facteurs d'émissions de la US EPA et du Gouvernement Australien. Les émissions de particules sont évaluées par les facteurs d'émissions du Gouvernement Canadien.

L'équation pour obtenir les taux d'émissions des gaz de combustion (i.e. : CO) est la suivante :

$$\begin{aligned}
 & \text{Taux émissions}_{CO} \left(\frac{g}{\text{sautage}} \right) \\
 &= \left(F. \text{ É. ANFO}_{CO} \left(\frac{kg_{CO}}{t \text{ explo}} \right) * 50\% + F. \text{ É. émulsion}_{CO} \left(\frac{kg_{CO}}{t \text{ explo}} \right) * 50\% \right) * \frac{Qté \text{ explo}(t)}{\text{sautage}} \\
 &* \frac{1000g}{kg} = \left(34 \left(\frac{kg_{CO}}{t \text{ explo}} \right) * 50\% + 17 \left(\frac{kg_{CO}}{t \text{ explo}} \right) * 50\% \right) * \frac{0,1 t}{\text{sautage}} * \frac{1000g}{kg} \\
 &= 2\,550 \frac{g}{\text{sautage}}
 \end{aligned}$$

Pour les particules (PST, PM_{2.5}), le taux d'émission est calculé à partir de la superficie estimée de roche qui est sautée à chacun des sautages. L'équation suivante est alors obtenue :

$$\begin{aligned}
 & \text{Taux émissions}_{PST} \left(\frac{g}{\text{sautage}} \right) = 0,00022 \left(\frac{kg \text{ PST}}{\text{sautage}} \right) * \left(\text{superficie (m}^2\text{)} \right)^{1.5} * \frac{1000g}{kg} \\
 &= 0,00022 \left(\frac{kg \text{ PST}}{\text{sautage}} \right) * (75 \text{ m}^2)^{1.5} * \frac{1000g}{kg} = 143 \frac{g}{\text{sautage}}
 \end{aligned}$$

Un sautage ne dure habituellement que quelques secondes. Toutefois, puisque l'intervalle de temps minimal sur lequel il est possible d'appliquer un taux d'émission dans AERMOD est d'une (1) heure, il faut ajuster les unités du taux ci-dessus pour obtenir le taux d'émission désiré :

$$\begin{aligned}
 & \text{Taux émissions}_{PST} \left(\frac{g}{s} \right) = \text{Taux émissions}_{PST} \left(\frac{g}{\text{sautage}} \right) * \frac{1 \text{ sautage}}{3600 s} \\
 &= 143 \frac{g}{\text{sautage}} * \frac{1 \text{ sautage}}{3600 s} = 4 \times 10^{-2} \frac{g}{s}
 \end{aligned}$$

Une fois dans AERMOD, des émissions variables seront utilisées afin d'appliquer ce taux uniquement sur les heures de sautage.

2.4

Émissions fugitives de poussières

Le mouvement des équipements mobiles et de la machinerie sur le chantier sera une source d'émission de poussières. De plus, la manutention des sols et des matériaux excavés sera une source importante d'émission de poussières sur le chantier. Pour calculer le total des émissions fugitives de poussières sur le site, l'emportement de poussière au sol a été considéré pour le mouvement de la chargeuse. Les émissions fugitives causées par la manutention des sols et du remblais par le bouteur et l'emportement de poussière en hauteur lors du chargement dans les camions par la chargeuse. Il a été considéré que la chargeuse parcourt 15 m entre son point de chargement et déchargement. Étant donnée la très courte distance, la circulation de la chargeuse est représentée par une source volumique. Les équations ci-dessous ont permis de compléter le calcul pour les taux d'émissions.

Équation du mouvement de la chargeuse sur route non pavée (valeurs des variables k, a et b fournies par l'AP-42 section route non pavée du chapitre 13.2.2) :

$$\begin{aligned}
 PST \text{ (route non pavée)} & \frac{g}{VKT^1} \\
 &= \text{facteur taille particule (k)} * \left(\frac{\%silt}{12} \right)^a \\
 &* \left(\frac{\text{poids chargeuse (tonnes courtes)}}{\frac{\text{tonnes courtes}}{\text{tonnes}} * 3} \right)^b * 281,9 \\
 &= 4,9 * \left(\frac{8,5}{12} \right)^{0,7} * \left(\frac{16}{0,907 * 3} \right)^{0,45} * 281,9 = 2\,408 \frac{g}{VKT}
 \end{aligned}$$

En considérant une mesure de mitigation de 75% suite à un arrosage de niveau 2, le taux d'émission devient :

$$\begin{aligned}
 PST \text{ (route non pavée, atténué)} & \frac{g}{VKT} = PST \text{ (route non pavée)} \frac{g}{VKT} * (1 - \% \text{ atténuation}) \\
 &= 2\,408 \frac{g}{VKT} * (1 - 0,75) = 602 \frac{g}{VKT}
 \end{aligned}$$

En supposant un godet d'une capacité de 5 m³, un temps d'utilisation de 5 heures par jour, un maximum de 17 trajets à l'heure par chantier est prévu. L'équation requise pour obtenir un taux d'émission horaire représentant le déplacement de la chargeuse devient donc :

$$\begin{aligned}
 PST \text{ (route non pavée, atténué)} & \frac{g}{s} \\
 &= PST \text{ (route non pavée, atténué)} \frac{g}{VKT} * \text{Distance moy. (km)} * \text{nb trajets} \\
 &* \frac{1h}{3600s} = 602 \frac{g}{VKT} * 0,015 \text{ km} * 17 * \frac{1h}{3600s} = 0,04 \frac{g}{s}
 \end{aligned}$$

¹ VKT – Véhicule – kilomètres – parcours

Lors des travaux de préparation du site, des poussières seront émises à l'atmosphère par le mouvement du sol. La manutention des sols et du remblais sera aussi une source importante d'émission de poussières sur le chantier. Afin d'évaluer les émissions de poussières causées par ces activités, la méthodologie de la section «aggregate handling» (chapitre 13.2.4) de l'AP-42 a été utilisée. L'exemple de calcul suivant présente l'équation de la manutention des sols lors de la préparation du site par le bouteur (valeurs de variable k fournie par l'AP-42 section «aggregate handling» du chapitre 13.2.4) :

$$\begin{aligned}
 PST(\text{manut. sol}) \frac{kg}{t} &= \text{Facteur taille particule (k)} * 0,0016 * \frac{\left(\frac{\text{vit. vent (m/s)}}{2,2} \right)^{1,3}}{\left(\frac{\% \text{ humidité}}{2} \right)^{1,4}} \\
 &= 1 * 0,0016 * \frac{\left(\frac{3,96}{2,2} \right)^{1,3}}{\left(\frac{3,4}{2} \right)^{1,4}} = 1,63 \times 10^{-3} \frac{kg}{t}
 \end{aligned}$$

Le taux d'émission horaire est calculé de la façon suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{Taux émission}_{PST} &= PST(\text{manut. sol}) \left(\frac{kg}{t} \right) * \text{Qté sol (t)} * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1}{\text{Nb jours de travaux}} * \frac{j}{\text{Nb heures}} \\
 &* \frac{1h}{3600s} = 1,63 \times 10^{-3} \frac{kg}{t} * 19\,110 \frac{t}{h} * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1}{588} * \frac{1}{24} * \frac{1}{3600} = 6,1 \times 10^{-4} \frac{g}{s}
 \end{aligned}$$

2.5 Émissions provenant du camionnage

Plusieurs taux d'émissions ont été considérés pour le camionnage étant donné que les sources suivantes sont considérées :

- Gaz d'échappement des camions immobiles (Tableau 2-3) ;
- Emportement de poussières des routes non-pavées;
- Emportement de poussières des routes pavées.

Tableau 2-5: Taux d'émission typiques pour les camions lourds au diesel en mode «idle» (US EPA, 2015)

Contaminants	Unités	Valeur
CO	g/h	91
NOx	g/h	201
SO2	g/h	N/D
PTS	g/h	0,2

Tableau 2-6 : Paramètres des camions

Item	Unités	Valeur	Source
Nombre de camion	-	7	Hatch ingénierie
Nombre de camion en « Idle »	-	2	Hypothèse
Puissance	kW	332	CAT740
Facteur de puissance - Mouvement	-	0,43	US EPA (2010)
Facteur de puissance – « Idle »	-	0,20	Hypothèse
Temps d'opération	h/jour	24	Hypothèse

Afin de calculer le taux d'émission des camions en marche stationnaire (« idle ») l'équation suivante est utilisée.

$$\begin{aligned}
 Taux_{exhaust,CO} \left(\frac{g}{s} \right) &= Nb \text{ équipement} * facteur puissance \\
 &\quad * facteur émission \left(\frac{g}{h} \right) * \frac{1h}{3600s} = 2 * 0,20 * 91 \frac{g}{h} * \frac{1h}{3600s} \\
 &= 0,01 \frac{g}{s}
 \end{aligned}$$

Lorsque les camions sont en mouvement, les facteurs d'émissions pour les camions lourds de classe VII (US EPA, 2008) sont utilisés.

Tableau 2-7: Taux d'émission pour les camions lourds classe VII en mouvement (US EPA, 2008)

Contaminants	Unités	Valeur
CO	g/km	1,1
NOx	g/km	4,7
SO2	g/km	0,2
PTS	g/km	0,12

L'équation pour le taux d'émission est le suivant :

$$\begin{aligned}
 Taux_{exhaust,CO} \left(\frac{g}{s} \right) &= Nb \text{ équipement} * facteur émission \left(\frac{g}{km} \right) \\
 &\quad * distance parcourue (km) * \frac{1h}{3600s} \\
 &= 7 * 0,43 * 1,1 \frac{g}{km} * 0,19 km * \frac{1h}{3600s} = 4,1 \times 10^{-4} \frac{g}{s}
 \end{aligned}$$

L'équation pour l'emportement de poussière des routes non-pavées (valeurs des variables k, a et b fournies par l'AP-42 section route non pavée du chapitre 13.2.2) et la méthodologie de calcul est la même que pour la section 2.4:

$$\begin{aligned}
 PST \left(\frac{g}{VKT} \right) &= facteur de taille de particule (k) * \left(\frac{\% silt}{12} \right)^a * \left(\frac{\text{poids} - \text{véhicule}}{3} \right)^b \\
 &= 4,9 * \left(\frac{8,5}{12} \right)^{0,7} * \left(\frac{50}{0,907 * 3} \right)^{0,45} * 281,9 = 4,021 \frac{g}{VKT}
 \end{aligned}$$

En considérant une mesure de mitigation de 75% suite à un arrosage de niveau 2, le taux d'émission devient :

$$\begin{aligned} PST(\text{route non pavée, atténué}) \frac{g}{VKT} &= PST(\text{route non pavée}) \frac{g}{VKT} * (1 - \% \text{ atténuation}) \\ &= 4\,021 \frac{g}{VKT} * (1 - 0,75) = \mathbf{1\,005} \frac{g}{VKT} \end{aligned}$$

En supposant un temps d'utilisation de 5 heures par jour et un maximum de 7 trajets à l'heure par chantier, l'équation requise pour obtenir un taux d'émission horaire représentant le déplacement de la chargeuse devient donc :

$$\begin{aligned} PST(\text{route non pavée, atténué}) \frac{g}{s} &= PST(\text{route non pavée, atténué}) \frac{g}{VKT} * \text{Distance moy. (km)} * \text{nb trajets} \\ &* \frac{1h}{3600s} = 1\,005 \frac{g}{VKT} * 0,12 \text{ km} * 7 * \frac{1h}{3600s} = \mathbf{0,25} \frac{g}{s} \end{aligned}$$

L'équation pour l'emportement de poussière des routes pavées (AP-42 section route pavée du chapitre 13.2.1) :

$$\begin{aligned} PST\left(\frac{g}{VKT}\right) &= \text{facteur taille particule (k)} * \left(\left(\text{silt } \left(\frac{g}{m^2}\right) \right)^{0,91} * (\text{poids véhicule})^{1,02} \right) \\ &= 3,23 * (0,6^{0,91} * 50^{1,02}) = \mathbf{110} \frac{g}{VKT} \end{aligned}$$

En considérant une mesure de mitigation de 75% suite à un arrosage de niveau 2, le taux d'émission devient :

$$\begin{aligned} PST(\text{route pavée, atténué}) \frac{g}{VKT} &= PST(\text{route pavée}) \frac{g}{VKT} * (1 - \% \text{ atténuation}) \\ &= 110 \frac{g}{VKT} * (1 - 0,75) = \mathbf{27} \frac{g}{VKT} \end{aligned}$$

En supposant un temps d'utilisation de 5 heures par jour et un maximum de 7 trajets à l'heure par chantier, l'équation requise pour obtenir un taux d'émission horaire représentant le déplacement de la chargeuse devient donc :

$$\begin{aligned} PST(\text{route pavée, atténué}) \frac{g}{s} &= PST(\text{route pavée, atténué}) \frac{g}{VKT} * \text{Distance moy. (km)} * \text{nb trajets} * \frac{1h}{3600s} \\ &= 27 \frac{g}{VKT} * 0,6 \text{ km} * 7 * \frac{1h}{3600s} = \mathbf{0,03} \frac{g}{s} \end{aligned}$$

3. Émissions variables

Afin de tenir compte de la variabilité des activités de construction et de l'horaire prévu des travaux, des émissions variables ont été utilisées. Les autres sources qui ne sont pas identifiées sont supposées comme fonctionnant en tout temps, 24 heures sur 24. Les sources *TRANS*, *LOAD*, *TRUCK* et *IDLE* du Tableau 3-1 fonctionnent uniquement durant 30 minutes pour les heures finissant à 11:00 et 17:00.

Tableau 3-1 : Sources à émissions variables

Heures ¹	TRANS1 TRANS2	LOAD1 LOAD2	TRUCK1 TRUCK2 TRUCK3 TRUCK4	IDLE1 IDLE5	CONST1 CONST2	EXPLO1 EXPLO2
1:00	-	-	-	-	X	-
2:00	-	-	-	-	X	-
3:00	-	-	-	-	X	-
4:00	-	-	-	-	X	-
5:00	-	-	-	-	X	-
6:00	-	-	-	-	X	-
7:00	-	-	-	-	-	-
8:00	-	-	-	-	-	X
9:00	X	X	X	X	-	-
10:00	X	X	X	X	-	-
11:00	X	X	X	X	-	-
12:00	-	-	-	-	-	-
13:00	-	-	-	-	-	-
14:00	-	-	-	-	-	X
15:00	X	X	X	X	-	-
16:00	X	X	X	X	-	-
17:00	X	X	X	X	-	-
18:00	-	-	-	-	-	-
19:00	-	-	-	-	X	-
20:00	-	-	-	-	X	-
21:00	-	-	-	-	X	-
22:00	-	-	-	-	X	-
23:00	-	-	-	-	X	-
24:00	-	-	-	-	X	-

¹Fin de l'heure.

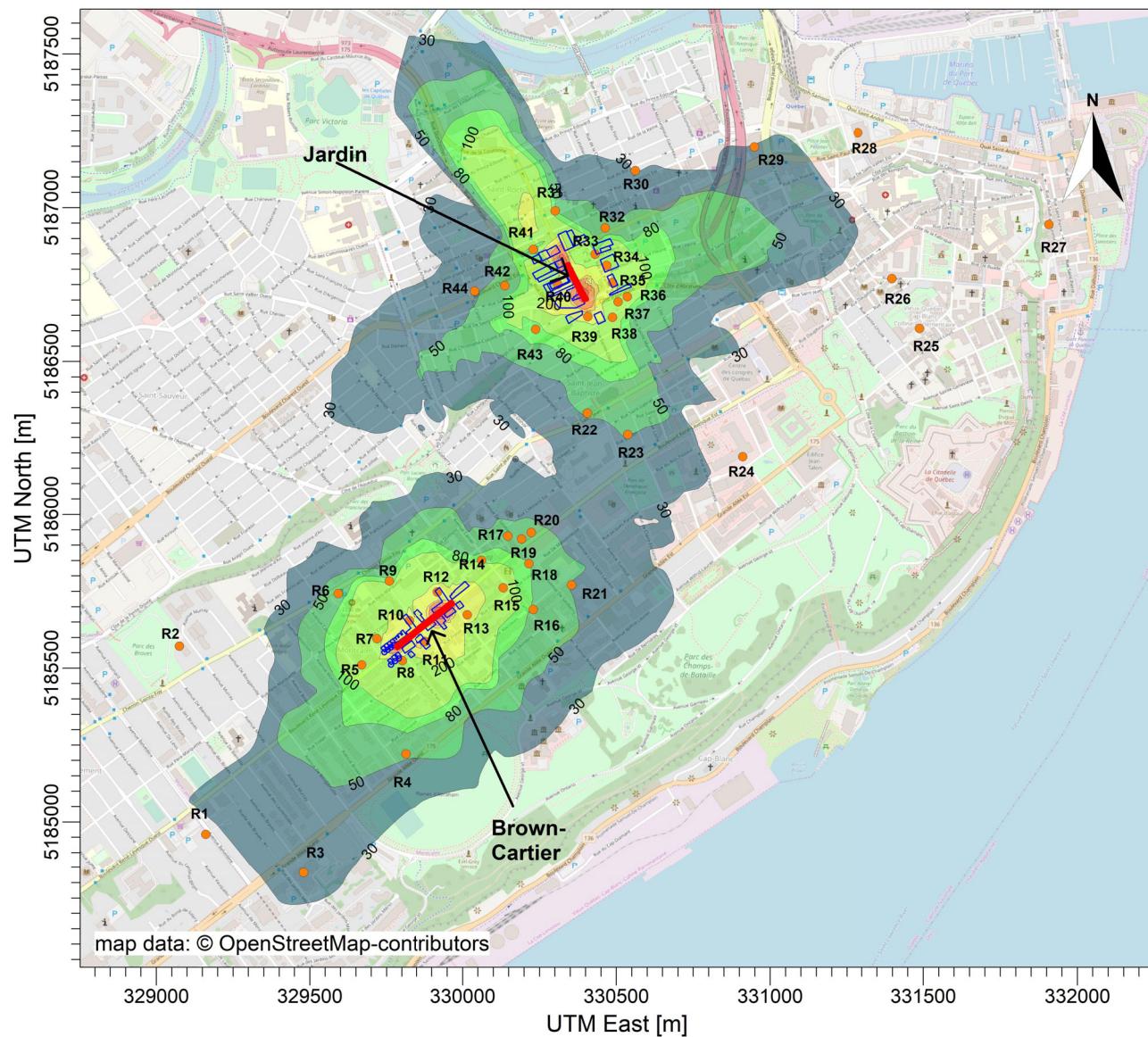
ANNEXE B

Figures



Titre du projet:

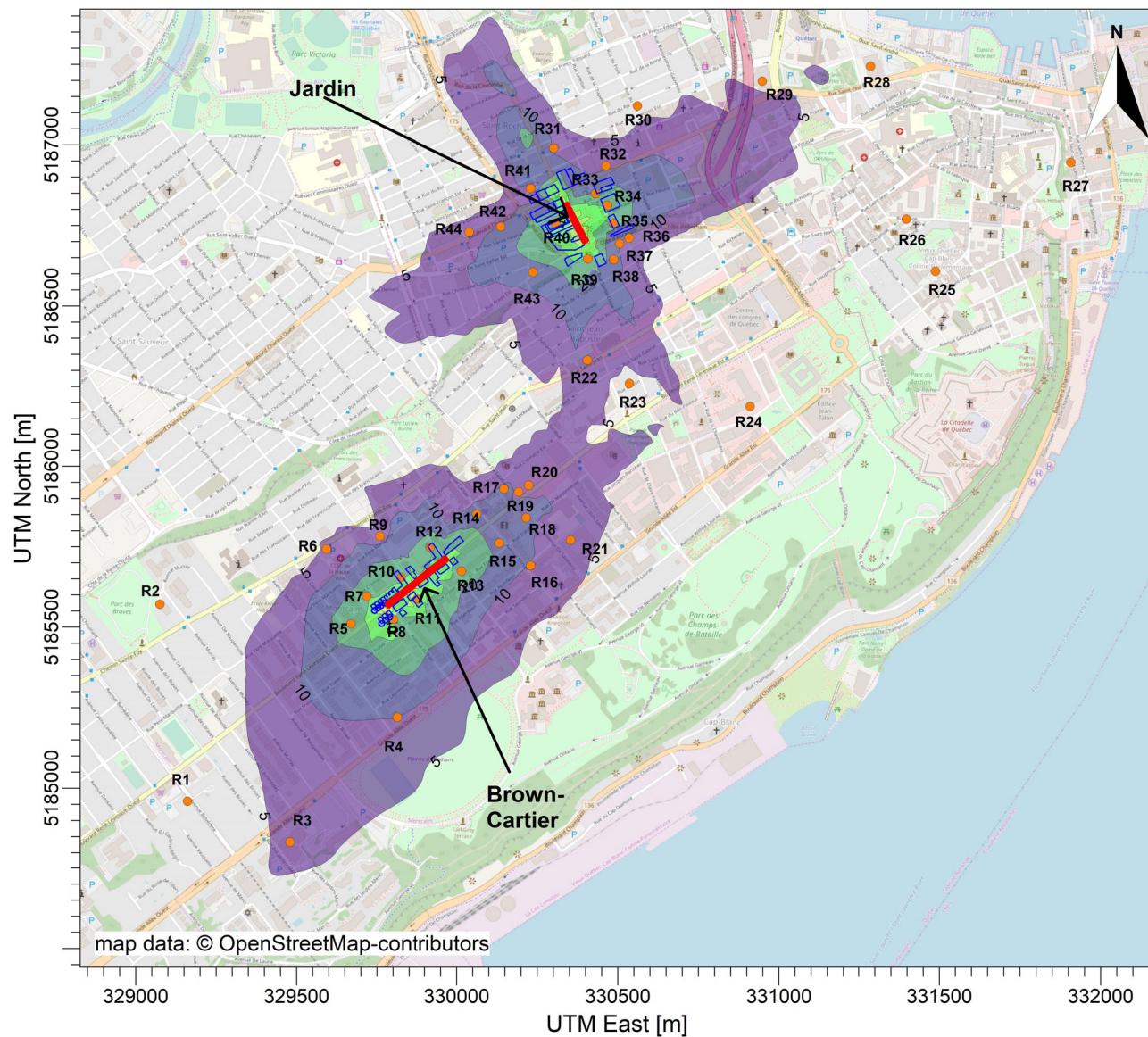
**RSTC Tramway de Québec - Modélisation de la dispersion atmosphérique en construction
NO₂ - Période horaire**



Commentaire: Résultats sans concentration initiale. Méthode OLM appliquée.			Sources: 30	Nom de la compagnie: Tram-Innov	
Récepteurs: 1763		Modélisateur: Bonira Khy			
Options du modèle: Concentration		SCALE: 1:22,000			
Maximum: 5/19/2020		Date: 5/19/2020	# de projet: H-360814		

Titre du projet:

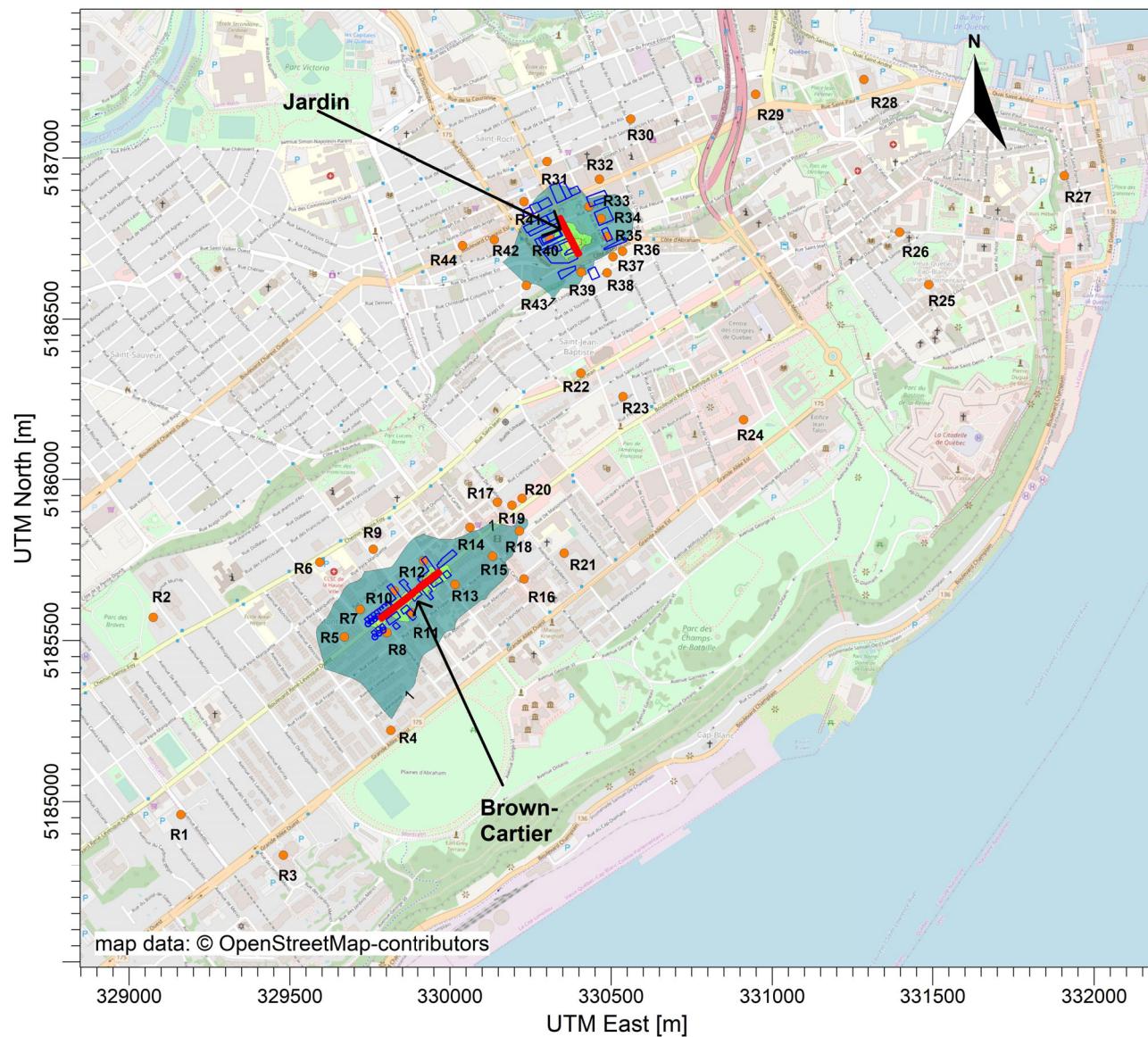
**RSTC Tramway de Québec - Modélisation de la dispersion atmosphérique en construction
NO2 - Période journalière**



Commentaire: Résultats sans concentration initiale. Méthode OLM appliquée.	Sources: 30	Nom de la compagnie: Tram-Innov
	Récepteurs: 1763	Modélisateur: Bonira Khy
	Options du modèle: Concentration	SCALE: 1:21,000 0 0.5 km
	Maximum:	Date: 5/19/2020 # de projet: H-360814

Titre du projet:

**RSTC Tramway de Québec - Modélisation de la dispersion atmosphérique en construction
PM2.5 - Période journalière**



ug/m³

Commentaire:	Sources:	Nom de la compagnie:	
Résultats sans concentration initiale.	30	Tram-Innov	
	Récepteurs: 1763	Modélisateur: Bonira Khy	
	Options du modèle: Concentration	SCALE: 1:21,000	
	Maximum:	Date: 5/19/2020	# de projet: H-360814

Titre du projet:

RSTC Tramway de Québec - Modélisation de la dispersion atmosphérique en construction
PST - Période journalière

