

TRAMWAY DE QUÉBEC

Modélisation de la dispersion atmosphérique en construction

Environnement

TRAM-0000-ENV-RPT-0000_02



Projet RSTC – Volet Tramway PROJET DE RÉFÉRENCE

Rapport définitif

Date : 29 avril 2021



Préparé par :

**Caron,
Louis**

Signé numériquement par Caron,
Louis
DN: cn=Caron, Louis,
email=louis.caron@hatch.com
Date : 2021.05.26 12:03:33 -04'00'

Louis Caron
(Environnement)

Vérifié par :

Khy, Bonira
2021.05.26
12:16:07 -04'00'

Bonira Khy, ing.
(Environnement)

Caroline Hardy, ing.
(Responsable Environnement)

Équipe de réalisation

Louis Caron (Environnement) Tram-Innov	Bonira Khy, ing. (Environnement) Tram-Innov	Caroline Hardy, ing. (Environnement) Tram-Innov
Sylvie Renaud / Line Poirier (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.

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	4
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	18
5.1.2 Sources volumiques	19
5.1.3 Sources linéaires volumiques	20
5.2 Mesures d'atténuation	24
6. Effet des bâtiments	25
6.1 Secteur du Jardin	25
6.2 Secteur Cartier/Colline Parlementaire	26
7. Qualité de l'air – Normes, critères et concentrations ambiantes	27
7.1 Normes et critères de la qualité de l'air	27
7.2 Concentration initiale de dioxyde d'azote et d'ozone	28
8. Résultats de modélisation	29
8.1 Analyse des résultats	29
8.1.1 Particules en suspension totales (PST)	29
8.1.2 Particules fines (PM _{2.5})	31
8.1.3 Dioxyde de soufre (SO ₂)	32
8.1.4 Dioxyde d'azote (NO ₂)	33
8.1.5 Monoxyde de carbone (CO)	34
8.1.6 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	35
8.1.7 Particules fines provenant de la combustion de diesel (PM _{2.5D})	36
9. Conclusion	37
10. Bibliographie	38
ANNEXE A	
ANNEXE B	

Liste des tableaux

Tableau 3-1 : Catégorie d'usage (<i>Données Québec</i>)	3
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	22
Tableau 5-3: Paramètres des sources volumiques	22
Tableau 5-4: Paramètres des sources volumiques linéaires	23
Tableau 5-5: Taux d'émissions sans atténuations.....	23
Tableau 5-6: Taux d'émissions avec atténuation pour les sources applicables	24
Tableau 7-1: Normes, critères et concentrations initiales.....	27
Tableau 7-2 : Concentrations ambiantes utilisées	29
Tableau 8-1 : Résultats de modélisation PST.....	30
Tableau 8-2 : Résultats de modélisation PM _{2.5}	31
Tableau 8-3 : Résultats de modélisation SO ₂	32
Tableau 8-4 : Résultats de modélisation NO ₂	33
Tableau 8-5 : Résultats de modélisation CO	34
Tableau 8-6 : Résultats de modélisation HAP	35
Tableau 8-7 : Résultats de modélisation PM _{2.5D}	36

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 Cartier-Colline Parlementaire	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 Cartier-Colline Parlementaire - Sources linéaires volumiques	15
Figure 5-2 : Chantier Cartier-Colline Parlementaire - Sources volumiques et ponctuelles	16
Figure 5-3 : Chantier Jardin Jean-Paul L'Allier - Sources linéaires volumiques	17
Figure 5-4 : Chantier Jardin Jean-Paul L'Allier - Sources volumiques et ponctuelles	18
Figure 5-5 : Paramètres de la source de camionnage sur route non pavée (extrait d'AERMOD, taux d'émission unitaire).....	21
Figure 6-1 : Bâtiments considérés au secteur du Jardin	25
Figure 6-2 : Bâtiments considérés au secteur Cartier/Colline Parlementaire	26
Figure 7-1 : Station de mesure 3006 - Québec Vieux-Limoilou.....	28

1. Introduction

En mai 2020, une étude de modélisation atmosphérique a été effectuée et soumise au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) pour la phase de construction du tramway de Québec. Des changements liés à l'emplacement de la trémie initialement prévue sur le boulevard René-Lévesque Ouest font en sorte qu'une deuxième étude de modélisation atmosphérique s'avère requise.

Afin d'évaluer l'impact de ces modifications sur la qualité de l'air, Tram-Innov a donc été mandatée par la Ville de Québec pour réaliser une étude de dispersion atmosphérique. 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 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 à partir du nouvel emplacement de la trémie maintenant localisée sur le boulevard René-Lévesque Est.

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

Suite à l'étude de modélisation atmosphérique effectuée en mai 2020, l'option de raccourcir la partie souterraine du tracé a été envisagée. En effet, l'emplacement de l'embouchure ouest du tunnel a été déplacé de plus de 650 mètres, soit de l'intersection René-Lévesque Ouest/Avenue des Érables à l'intersection René-Lévesque Est/Avenue Turnbull.

Les embouchures du tunnel représentent les endroits ayant les impacts les plus importants sur la qualité de l'air durant la phase de construction du projet. La modélisation réalisée est donc concentrée sur ces zones, situées entre les stations Cartier et du Jardin Jean-Paul L'Allier. Considérant leur proximité, soit moins de 600 mètres, les deux embouchures du tunnel sont modélisées sur un même domaine de modélisation. La Figure 2-1 présente le tracé prévu du tramway de Québec. La partie en orangée représente la section 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.

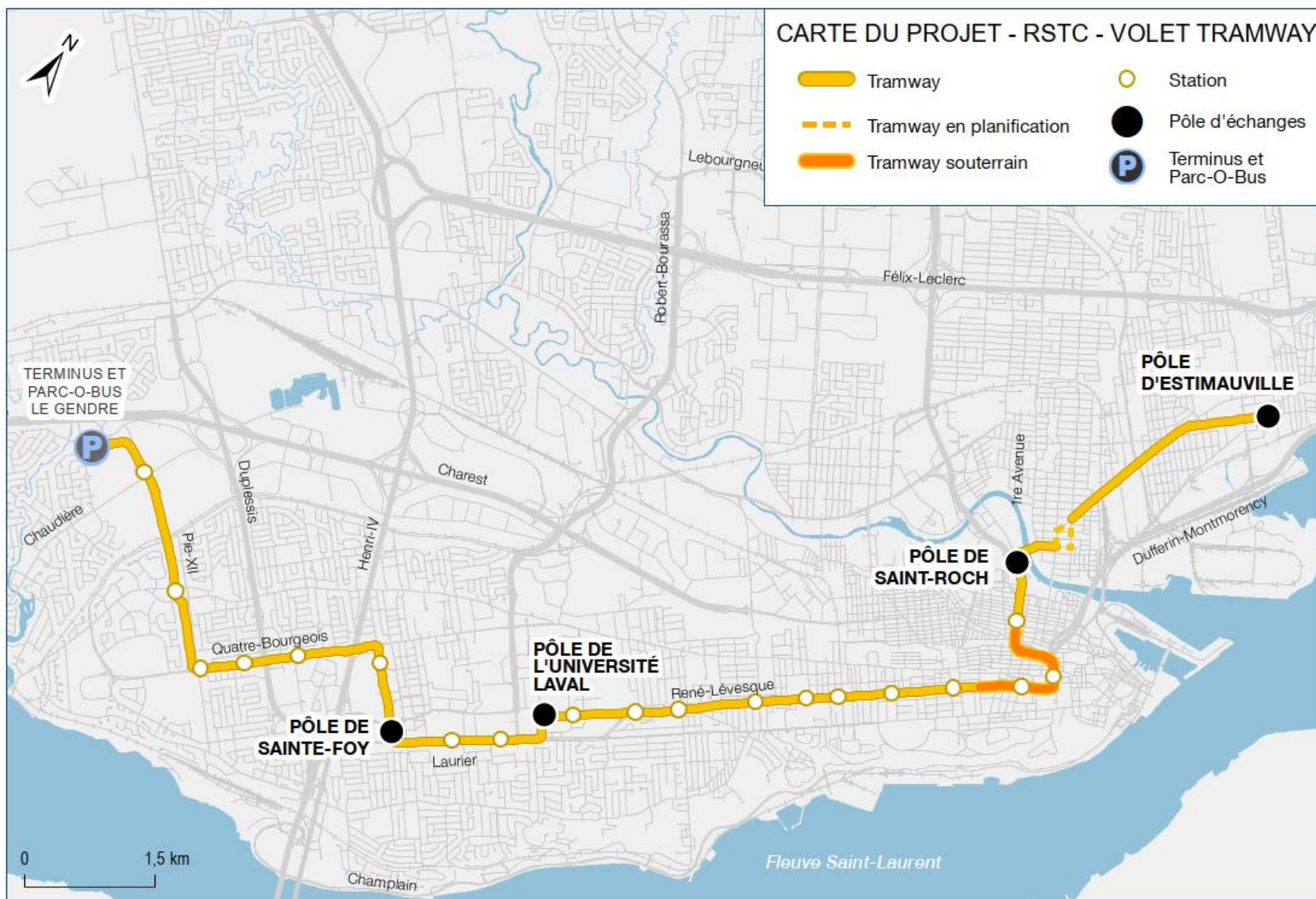


Figure 2-1 : Plan d'ensemble du projet entre le Terminus Legendre et le Pôle d'échanges D'Estimauville

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%

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

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 %

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.

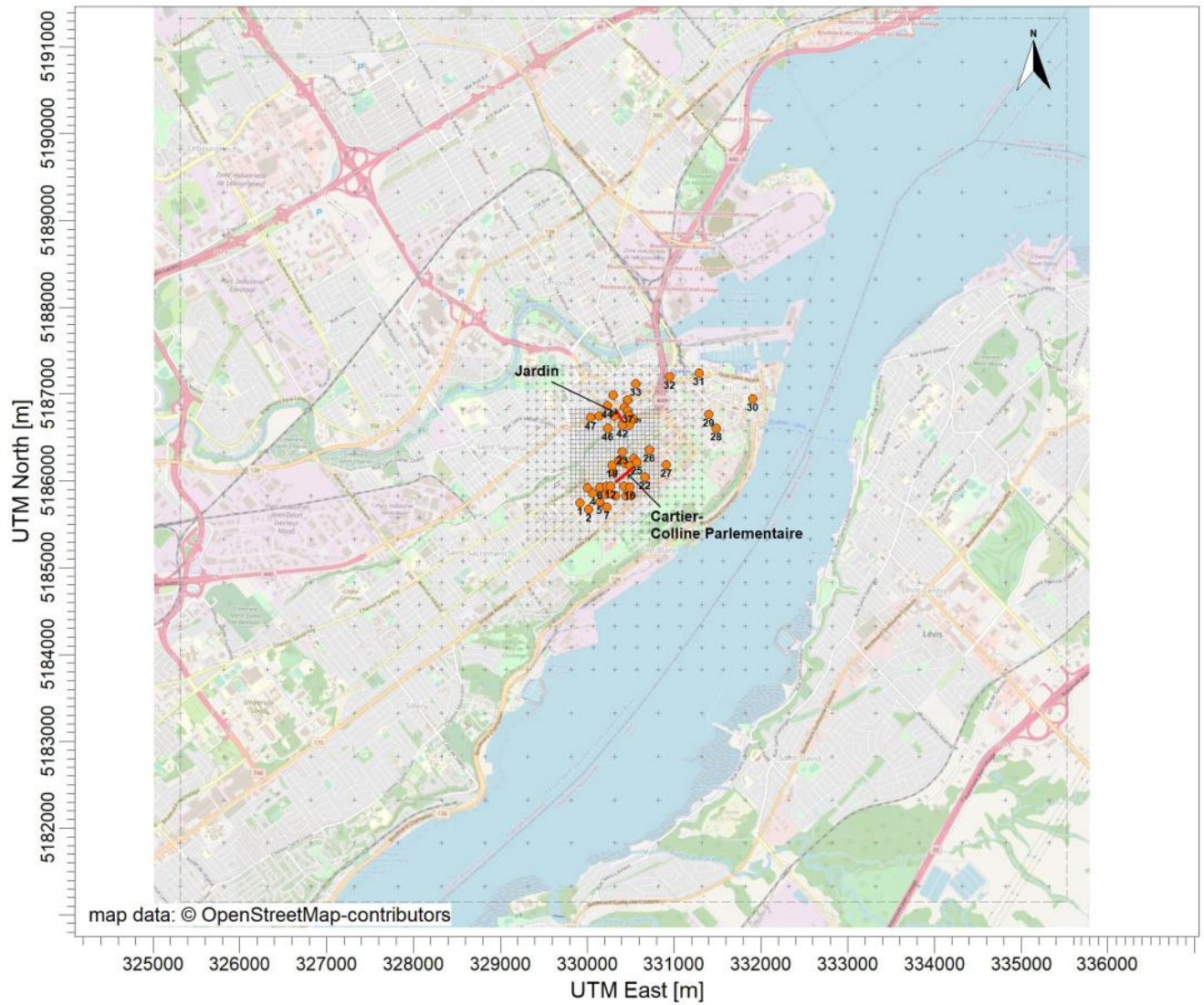


Figure 3-1 : Domaine de modélisation et récepteurs

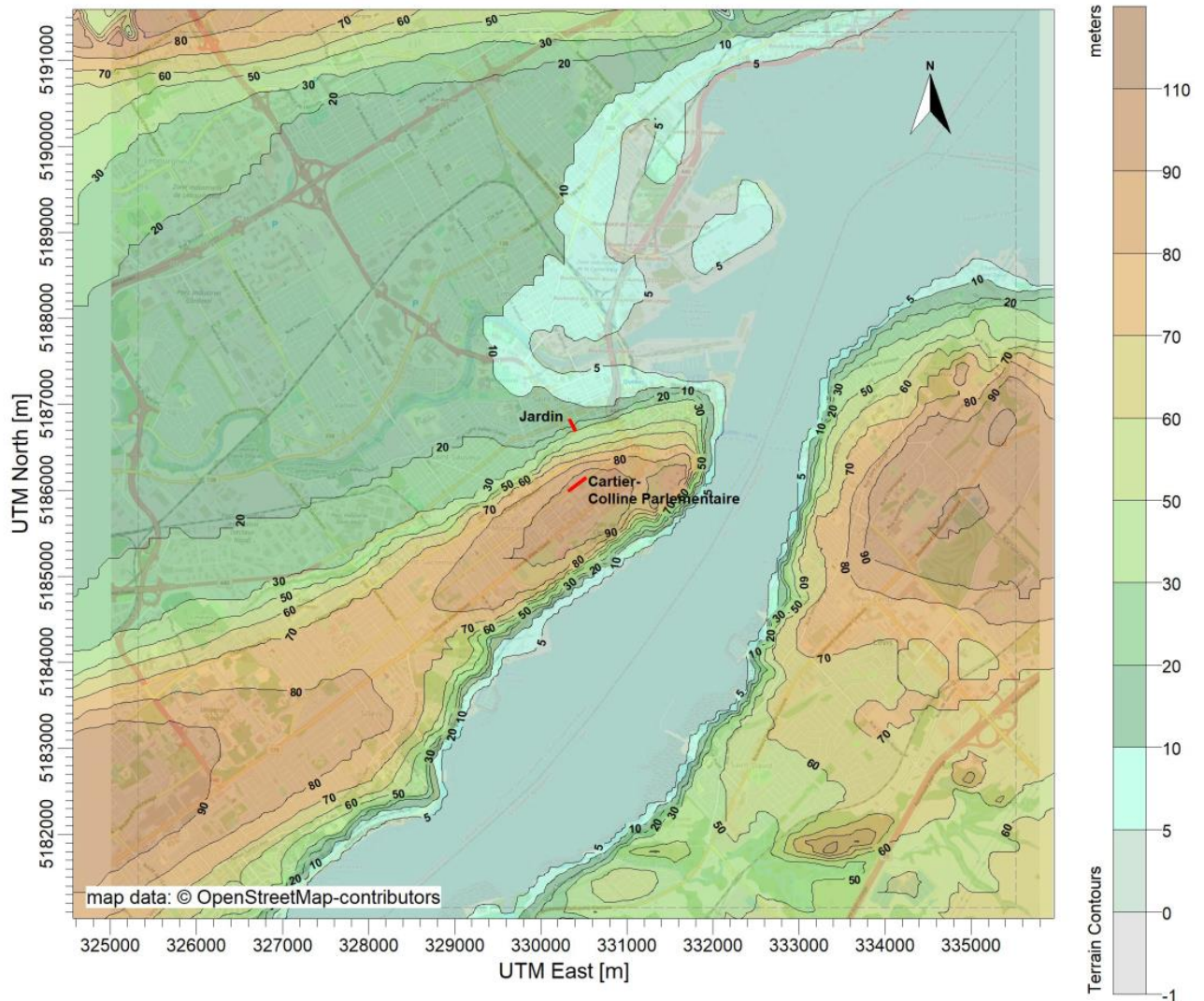


Figure 3-2 : Topographie du domaine de modélisation

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

Une série de récepteurs a été définie sur le périmètre de chacun des chantiers de construction à prévoir, soit celui entre la Station 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 Cartier-Colline Parlementaire

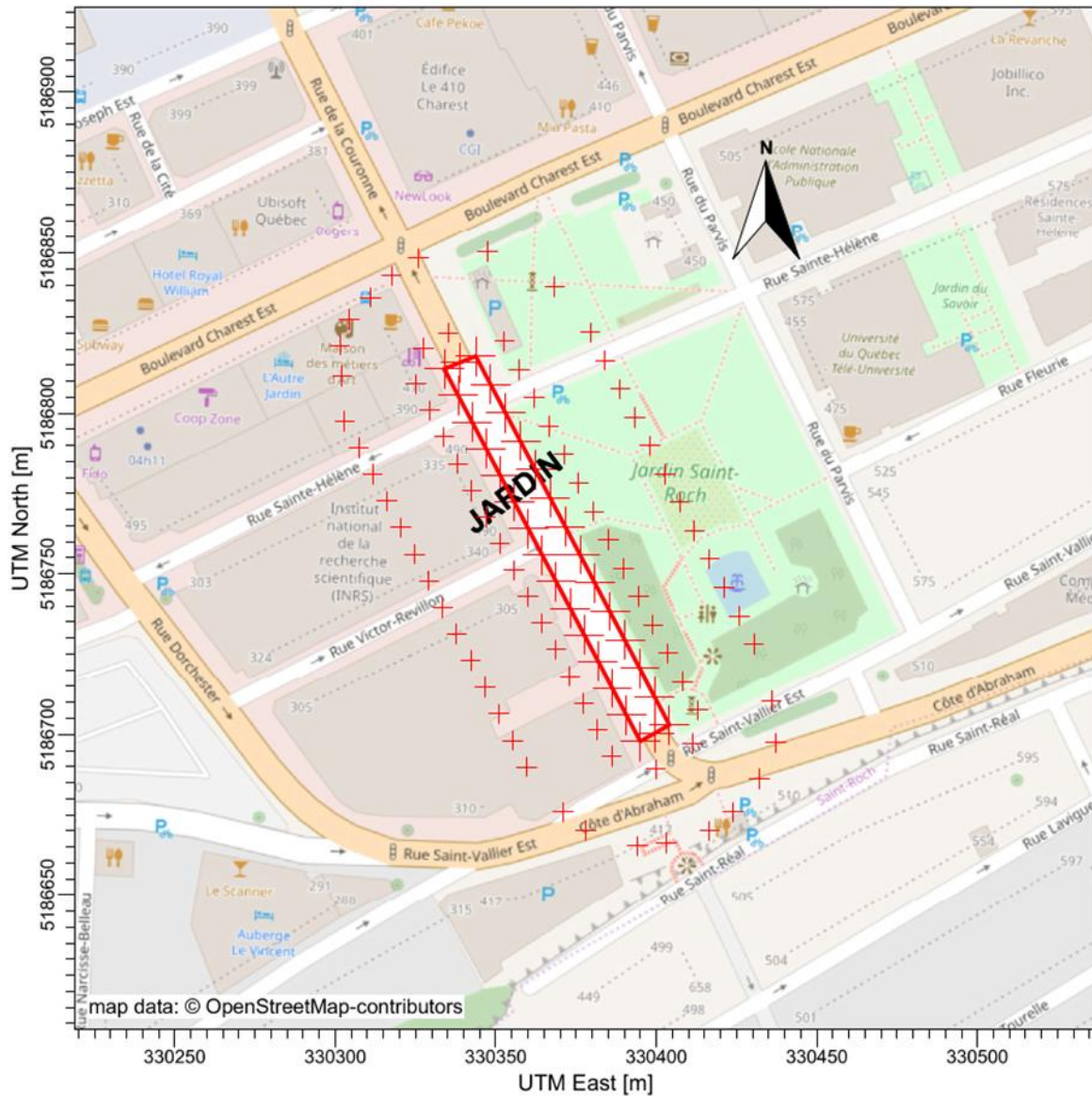


Figure 3-4 : Limites des zones de constructions – Jardin Jean-Paul L'allier

3.4.2 Récepteurs sensibles

Des récepteurs sensibles ont également été sélectionnés dans les quartiers résidentiels et commerciaux les plus proches des activités de constructions 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 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	Logement/Appartement	329918	5185748
2	Maison unifamiliale	330015	5185674
3	Logement/Appartement	330005	5185924
4	Logement/Appartement	330066	5185857
5	Logement/Appartement	330145	5185759
6	Logement/Appartement	330147	5185930
7	Logement/Appartement	330226	5185696
8	Logement/Appartement	330214	5185850
9	Logement/Appartement	330223	5185941
10	École	330323	5185826
11	École	330263	5185854
12	Logement/Appartement	330270	5185938
13	Logement/Appartement	330448	5185830
14	Logement/Appartement	330505	5185833
15	Logement/Appartement	330426	5185941
16	Logement/Appartement	330492	5185928
17	Logement/Appartement	330296	5186104
18	Logement/Appartement	330286	5186180
19	Logement/Appartement	330364	5186235
20	Logement/Appartement	330428	5186205
21	Logement/Appartement	330490	5186173
22	Logement/Appartement	330662	5186044
23	École	330406	5186333
24	Garderie CPE	330536	5186260
25	Logement/Appartement	330574	5186218
26	Garderie CPE (Parc)	329918	5185748
27	Garderie CPE	330910	5186188
28	École	331488	5186608
29	Garderie CPE	331398	5186770
30	Résidence	331907	5186946
31	Garderie CPE	331287	5187244
32	Clinique médicale	330948	5187198
33	Résidence	330561	5187121
34	Logement/Appartement	330301	5186990
35	Clinique médicale	330463	5186935
36	École	330431	5186849
37	Université (TELUQ)	330468	5186812
38	Logement/Appartement	330487	5186757
39	Logement/Appartement	330536	5186711
40	Logement/Appartement	330505	5186694
41	Logement/Appartement	330487	5186644
42	Logement/Appartement	330407	5186646
43	Institut de recherche scientifique (INRS)	330309	5186752
44	Logement/Appartement	330229	5186865
45	École	330137	5186747
46	Logement/Appartement	330237	5186605
47	Clinique médicale	330039	5186729

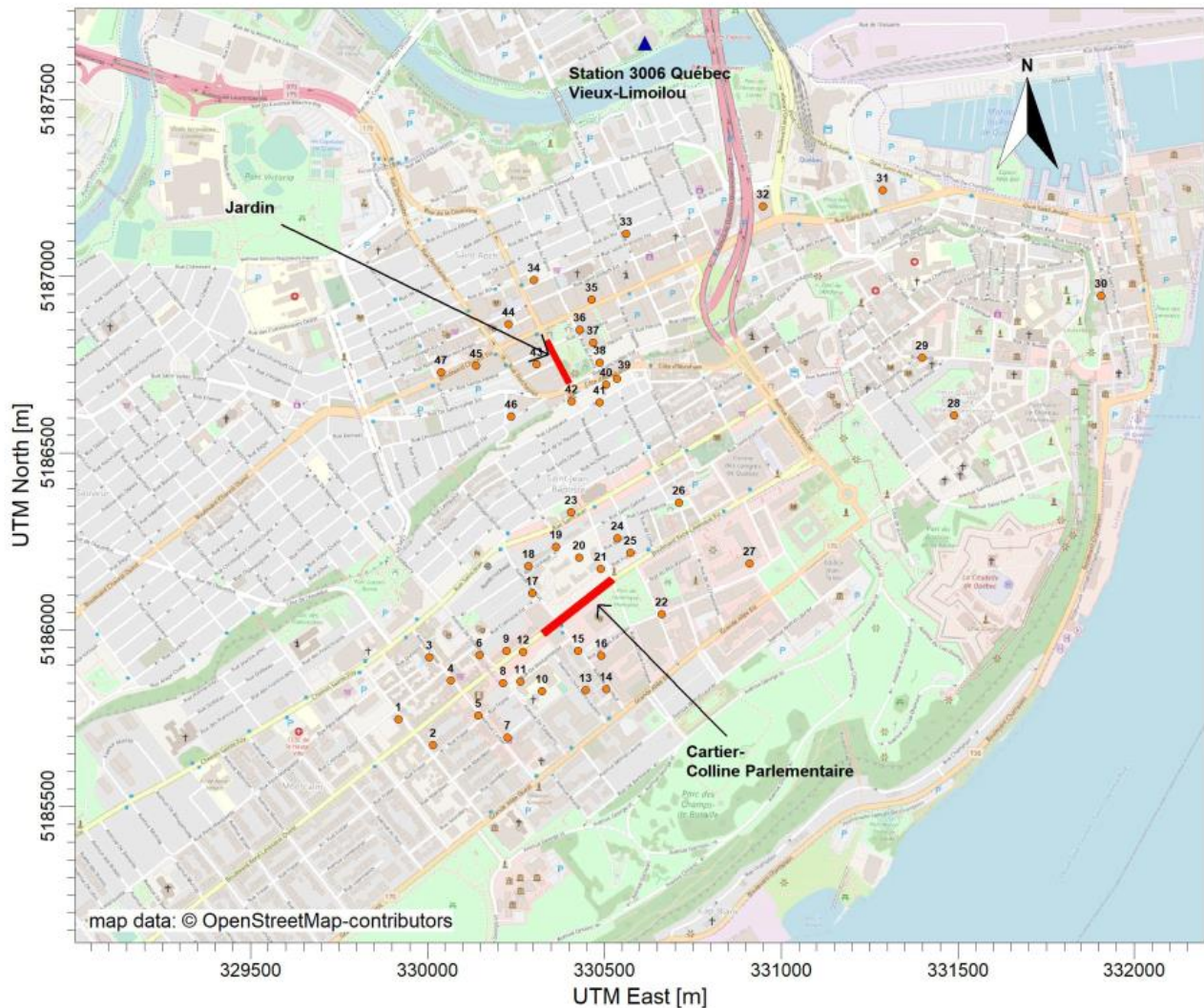


Figure 3-5 : Récepteurs sensibles

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 météorologique de surface utilisée se trouve à 12 km à l'ouest des chantiers de la station 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	Aérologique	425407	5136727	170	365	2008-2012

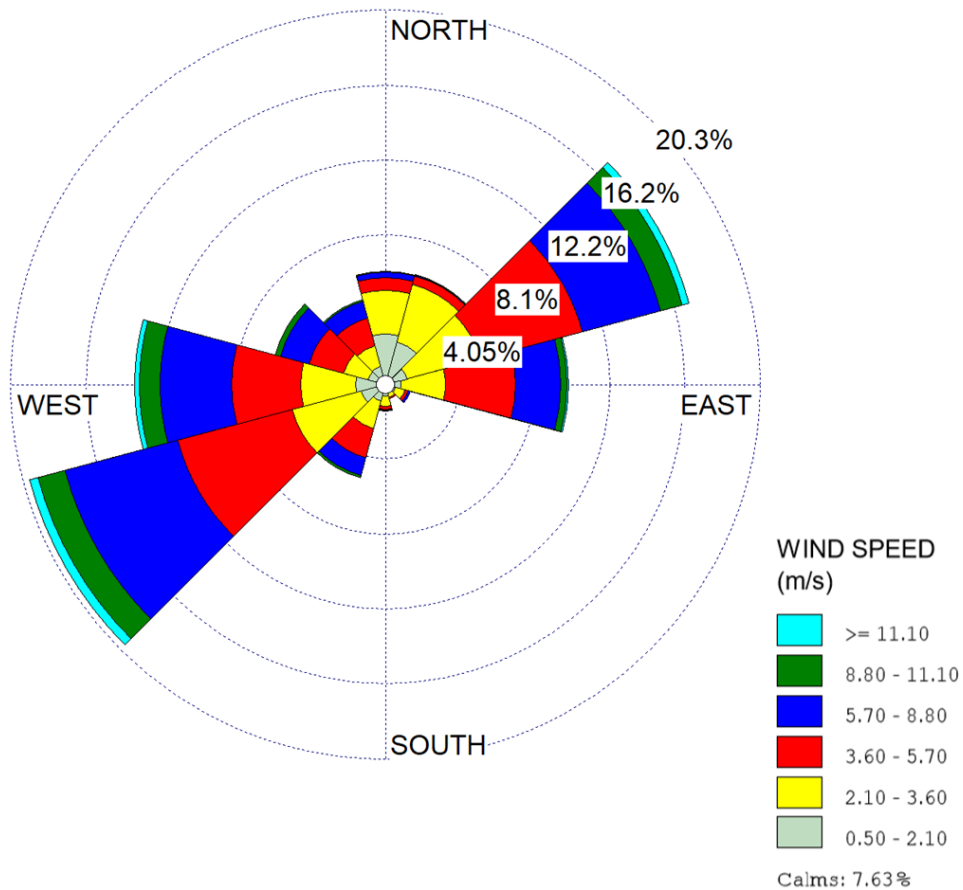


Figure 4-1 : Rose des vents générée pour les données météorologiques horaires de 2008-2012

Les données aérologiques proviennent de la station aérologique 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.

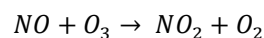
Les données météorologiques employées, provenant de l'aéroport Jean-Lesage de Québec, ont été fournies directement par le MELCC. Par conséquent, les paramètres de surface, incluant l'utilisation des sols, l'albédo et le rapport de Bowen, ont tous été définis par le MELCC selon la procédure appropriée.

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 (NO_x). En effet, seule une certaine proportion des NO_x 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.

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 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 Cartier-Colline Parlementaire et celui du Jardin Jean-Paul L'Allier. La Figure 5-1 et la Figure 5-2 présentent les sources du chantier Cartier-Colline Parlementaire 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 choisis par le Partenaire privé. 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 Cartier-Colline Parlementaire - Sources linéaires volumiques

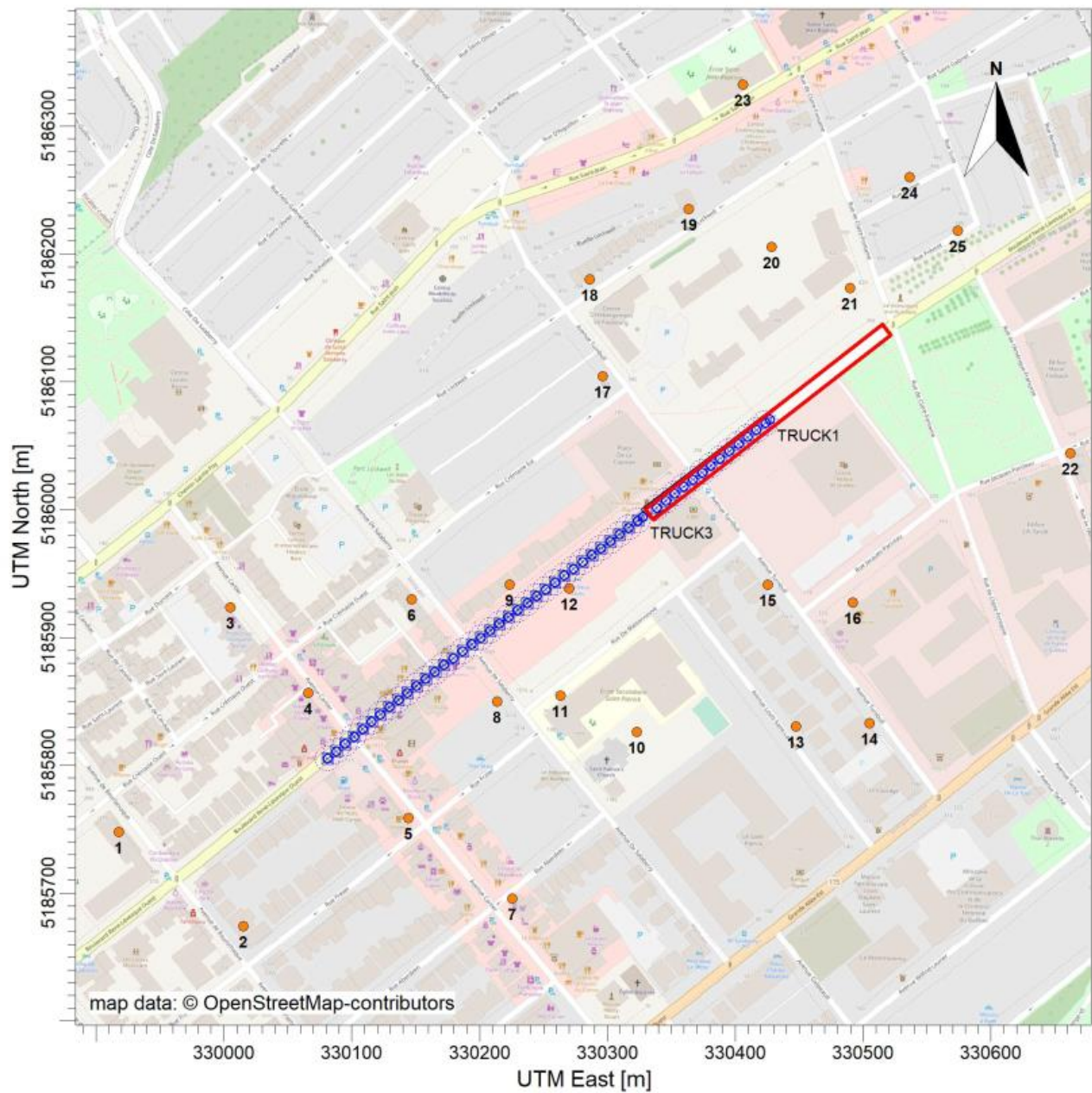
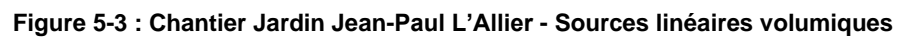




Figure 5-2 : Chantier Cartier-Colline Parlementaire - Sources volumiques et ponctuelles



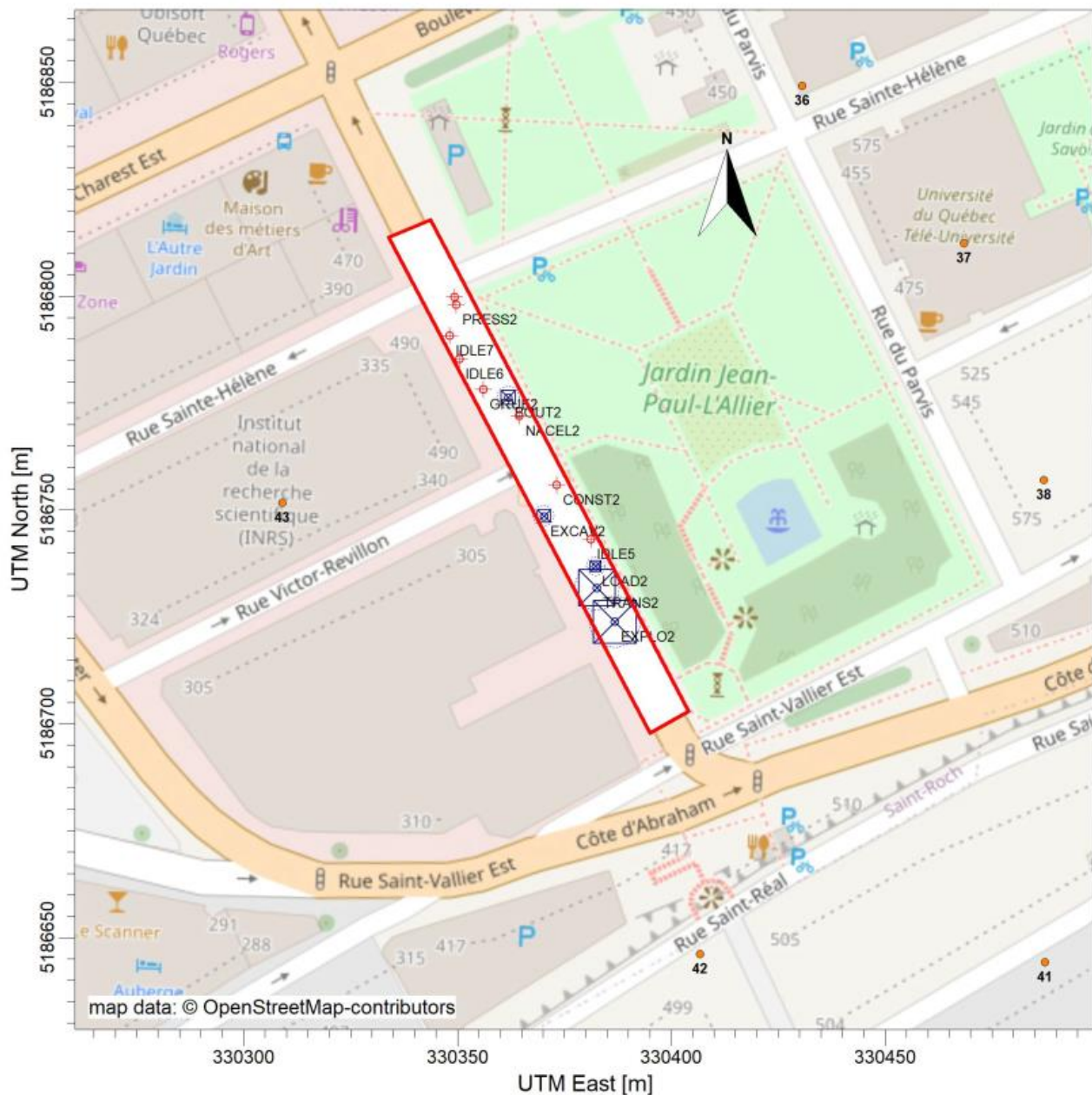


Figure 5-4 : Chantier Jardin Jean-Paul L'Allier - Sources volumiques et ponctuelles

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 (Cartier-Colline Parlementaire 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 : $(\text{largeur de la chargeuse (2,5 m)} + 6) / 4,3$. La dimension verticale initiale correspond à la hauteur de l'équipement divisée par 2,15.

Chargement 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 & Schrödl, 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.

Bouteur (BOUT1/2) : L'utilisation de boteurs 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 boteur. 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 Cartier-Colline Parlementaire, treize (13) sources volumiques ont été générées sur une distance approximative de 120 m, et ce, pour les routes non pavées. Pour les routes pavées, soixante-neuf (69) sources volumiques ont été générées sur une distance de 620 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 ✕

Haul Road Parameters

Configuration: Adjacent ▾

Vehicle Height (VH):	<input type="text" value="3.8"/>	▼ [m]	
Factor:	<input type="text" value="1.7"/>	↻	
Plume Height (PH):	<input type="text" value="6.46"/>	[m] (PH = Factor * VH)	
Release Height (RH):	<input type="text" value="3.23"/>	[m] (RH = 0.5 * PH)	
Initial Sigma Z:	<input type="text" value="3.0"/>	[m] (Sigma Z = PH / 2.15)	

Lane Type: Single Lane ▾

Vehicle Width (VW):	<input type="text" value="3.0"/>	▼ [m]
Plume Width (PW):	<input type="text" value="9.0"/>	[m] (PW = VW + 6m)
Initial Sigma Y:	<input type="text" value="4.19"/>	[m] (Sigma Y = PW / 2.15)

Emission Rate: ▼ [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	330429	5186072	93	4,0	0,1	15	366
IDLE2	330398	5186049	92	4,0	0,1	15	366
IDLE3	330362	5186020	92	4,0	0,1	15	366
IDLE4	330341	5186002	92	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	92	0,5	0,1	15	366
PRESS2	330350	5186798	17	0,5	0,1	15	366
NACEL1	330385	5186035	92	1,0	0,1	15	366
NACEL2	330364	5186772	18	1,0	0,1	15	366
GRUE1	330373	5186030	92	1,0	0,1	15	366
GRUE2	330356	5186778	17	1,0	0,1	15	366
CONST1	330413	5186064	93	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	330431	5186076	93	1,9	0,58	0,88
LOAD2	330382	5186737	20	1,9	0,58	0,88
TRANS1	330439	5186080	94	1,65	1,98	1,53
TRANS2	330383	5186732	20	1,65	1,98	1,53
EXPLO1	330447	5186086	94	5,0	2,33	4,65
EXPLO2	330387	5186724	20	5,0	2,33	4,65
BOUT1	330335	5185997	92	1,6	0,77	1,49
BOUT2	330362	5186776	18	1,6	0,77	1,49
EXCAV1	330333	5186000	92	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	330427	5186071	94	3,2	4,2	3,0
	330333	5185997	92			
TRUCK2	330378	5186740	25	3,2	4,2	3,0
	330348	5186798	18			
TRUCK3	330328	5185994	92	3,2	4,2	3,0
	330167	5185875	91			
	330130	5185846	91			
	330078	5185803	91			
TRUCK4	330348	5186798	17	3,2	4,2	3,0
	330321	5186852	15			
	330599	5186976	9			
	330690	5187016	9			
	330693	5187018	9			
	330697	5187020	10			
	330737	5187036	10			
	330758	5187044	10			

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	2,5E-04	1,1E-03	4,6E-05	1,4E-09	9,2E-01	2,7E-02	2,6E-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	6,6E-04	2,9E-03	1,2E-04	3,7E-09	6,7E-02	3,2E-03	6,8E-05
Camionnage sur route pavée	TRUCK4	g/s	1,1E-03	4,9E-03	2,1E-04	6,4E-09	1,2E-01	5,5E-03	1,2E-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 « idle »	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 « idle »	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
Buteur	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	2,5E-04	1,1E-03	4,6E-05	1,4E-09	2,3E-01	6,7E-03	2,6E-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	6.6E-04	2.9E-03	1.2E-04	3.7E-09	1.7E-02	8.5E-04	6.8E-05
Camionnage sur route pavée	TRUCK4	g/s	1.1E-03	4.9E-03	2.1E-04	6.4E-09	2.9E-02	1.5E-03	1.2E-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.

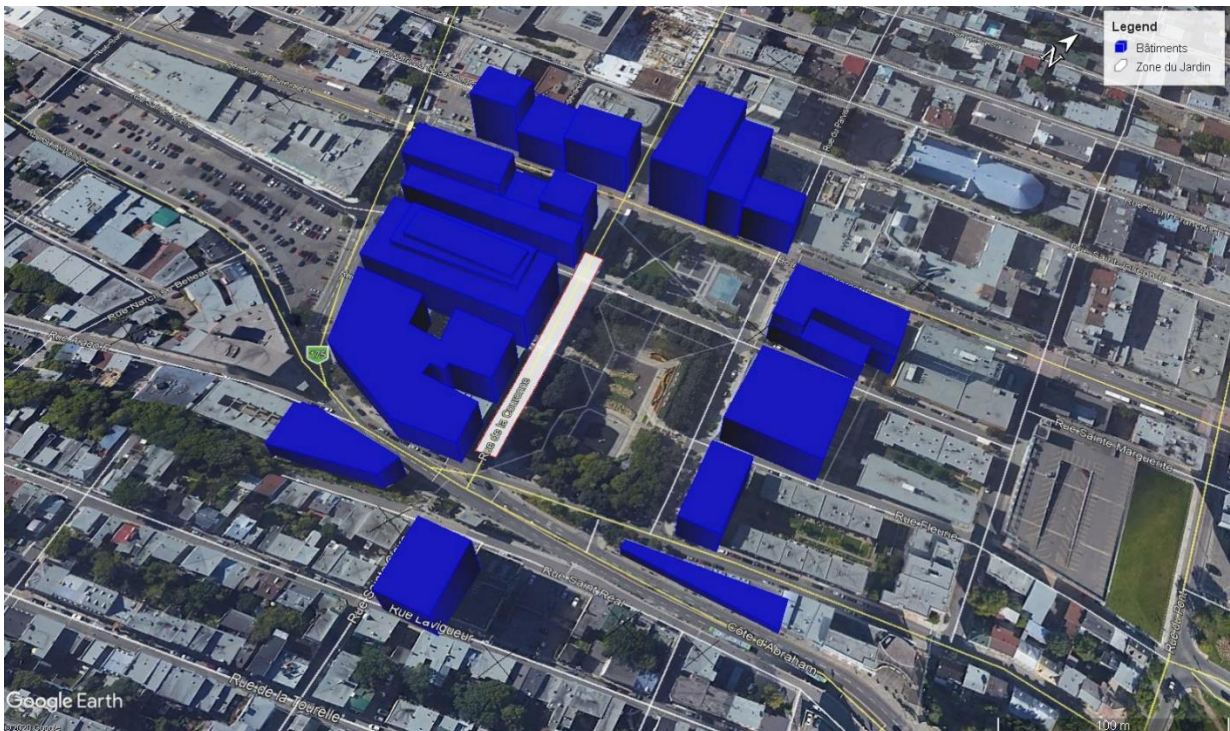


Figure 6-1 : Bâtiments considérés au secteur du Jardin

6.2 Secteur Cartier/Colline Parlementaire

Les bâtiments à proximité du secteur Cartier/Colline Parlementaire ont des hauteurs variant entre 12 m et 80 m. Il s'agit principalement d'édifices à logement (multiplex) avec quelques bâtisses commerciales et institutionnelles (Grand Théâtre). La zone des travaux estimée couvre la totalité du boulevard René-Lévesque Est, ayant une distance d'environ 5 m des bâtiments les plus proches. La Figure 6-2 présente les bâtiments considérés au secteur Cartier/Colline Parlementaire.



Figure 6-2 : Bâtiments considérés au secteur Cartier/Colline Parlementaire

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 (NO₂). 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 (µg/m ³)	Concentration initiale (RAA) ¹ (µg/m ³)	Concentration mesurée (µg/m ³)
Particules en suspensions totales (PST)	24 heures	120	90	-
Particules fines (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 1500 m du chantier Cartier-Colline Parlementaire. La station est identifiée par un triangle bleu à la Figure 7-1.

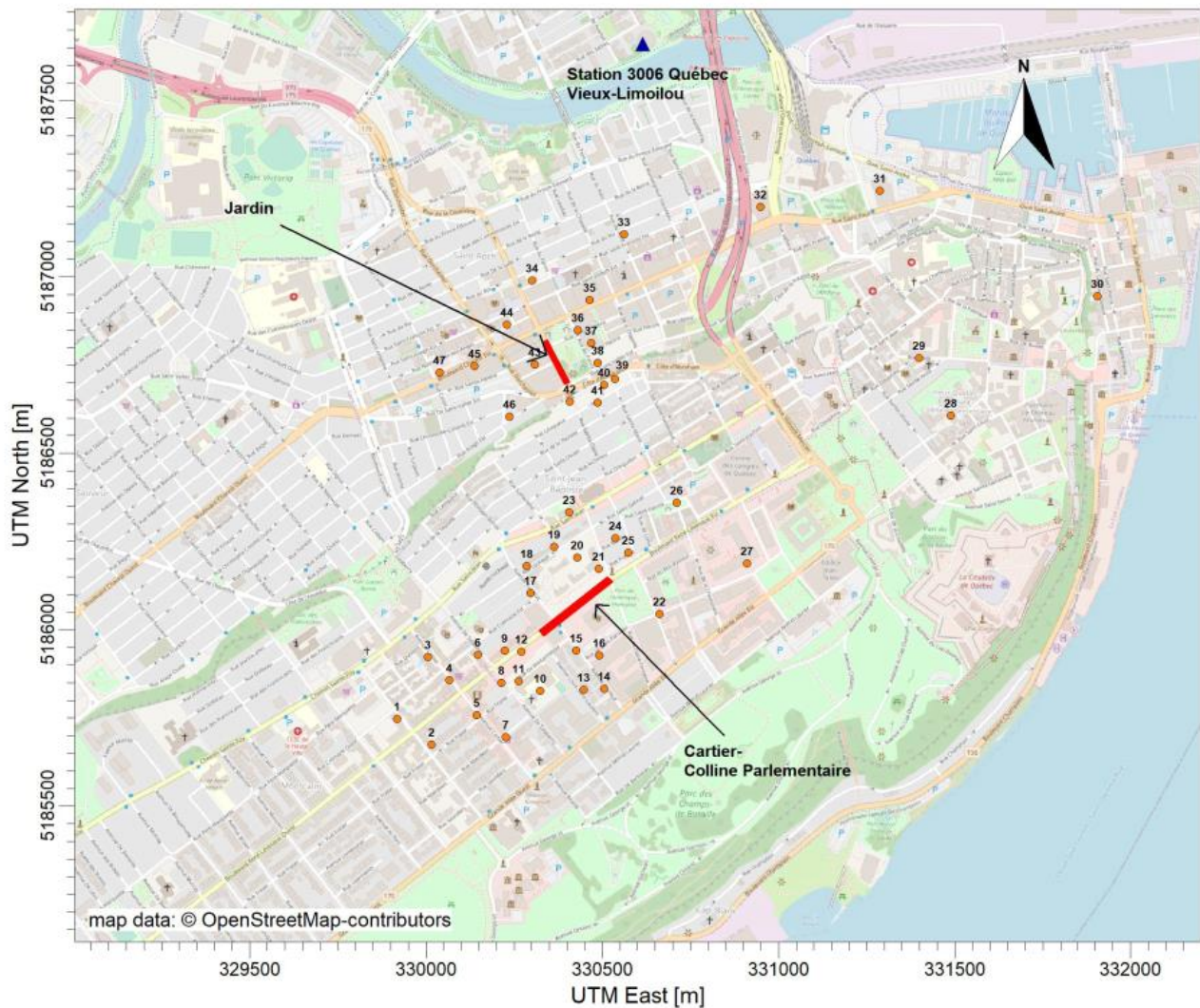


Figure 7-1 : Station de mesure 3006 - Québec Vieux-Limoilou

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 7-2 présente 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 18 % pour un récepteur donné. Ces dépassements représentent 579 journées uniques sur 1 826 jours (5 années), soit une fréquence de dépassement d'environ 31,7 %. Des dépassements ont lieu à chacun des mois de l'année. Ceci dit, près de 80% de ces dépassements surviennent à la fin de l'automne et en hiver, soit durant les mois d'octobre (84 journée), novembre (69 journées), décembre (101 journées), janvier (74 journées), février (64 journées) et mars (69 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 prédits 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. La proximité des deux embouchures du tunnel, soit moins de 600 mètres, peut expliquer cette fréquence de dépassements en PST à cause d'un effet cumulatif des activités. Considérant que les sources de camionnage et d'explosifs de ces deux zones représentent les contributeurs les plus importants et que celles-ci sont modélisées au même moment de la journée, les résultats du Tableau 8-1 démontrent l'impact sur la qualité de l'air du pire scénario de construction envisageable.

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	329918	5185748	90	120	16	106	88%		
R2	330015	5185674	90	120	16	106	88%		
R3	330005	5185924	90	120	26	116	97%		
R4	330066	5185857	90	120	28	119	99%		
R5	330145	5185759	90	120	38	128	107%	1	0%
R6	330147	5185930	90	120	56	146	122%	13	1%
R7	330226	5185696	90	120	51	141	118%	5	0%
R8	330214	5185850	90	120	57	147	123%	8	0%
R9	330223	5185941	90	120	77	167	139%	44	3%
R10	330323	5185826	90	120	118	208	173%	16	1%
R11	330263	5185854	90	120	70	160	133%	17	1%
R12	330270	5185938	90	120	104	194	162%	50	3%
R13	330448	5185830	90	120	47	137	114%	11	1%
R14	330505	5185833	90	120	39	129	108%	3	0%
R15	330426	5185941	90	120	89	179	149%	41	2%
R16	330492	5185928	90	120	57	147	122%	12	1%
R17	330296	5186104	90	120	52	142	118%	16	1%
R18	330286	5186180	90	120	41	131	109%	6	0%
R19	330364	5186235	90	120	36	126	105%	2	0%
R20	330428	5186205	90	120	57	147	123%	9	0%
R21	330490	5186173	90	120	102	192	160%	45	2%
R22	330662	5186044	90	120	82	172	144%	14	1%
R23	330406	5186333	90	120	25	115	96%		
R24	330536	5186260	90	120	48	138	115%	10	1%
R25	330574	5186218	90	120	105	195	163%	32	2%
R26	329918	5185748	90	120	35	125	104%	1	0%
R27	330910	5186188	90	120	27	117	98%		
R28	331488	5186608	90	120	8	98	82%		
R29	331398	5186770	90	120	10	100	83%		
R30	331907	5186946	90	120	5	95	79%		
R31	331287	5187244	90	120	8	98	81%		
R32	330948	5187198	90	120	15	105	86%		
R33	330561	5187121	90	120	17	107	89%		
R34	330301	5186990	90	120	32	122	101%	1	0%
R35	330463	5186935	90	120	46	136	111%	8	0%
R36	330431	5186849	90	120	77	167	139%	45	2%
R37	330468	5186812	90	120	101	191	160%	114	6%
R38	330487	5186757	90	120	129	219	182%	101	6%
R39	330536	5186711	90	120	80	170	141%	7	0%
R40	330505	5186694	90	120	46	136	114%	8	0%
R41	330487	5186644	90	120	30	120	100%	0	0%
R42	330407	5186646	90	120	76	166	138%	8	0%
R43	330309	5186752	90	120	150	240	200%	326	18%
R44	330229	5186865	90	120	49	139	116%	6	0%
R45	330137	5186747	90	120	36	126	105%	3	0%
R46	330237	5186605	90	120	38	128	107%	4	0%
R47	330039	5186729	90	120	22	112	94%		

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 89 % 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/m³)	Norme (µg/m³)	Conc. max. du modèle (µg/m³)	Conc. totale (µg/m³)	% Norme (incluant conc. initiale)
R1	329918	5185748	20	30	1	21	69%
R2	330015	5185674	20	30	1	21	69%
R3	330005	5185924	20	30	1	21	70%
R4	330066	5185857	20	30	1	21	70%
R5	330145	5185759	20	30	1	21	71%
R6	330147	5185930	20	30	2	22	74%
R7	330226	5185696	20	30	2	22	73%
R8	330214	5185850	20	30	2	22	74%
R9	330223	5185941	20	30	3	23	77%
R10	330323	5185826	20	30	4	24	81%
R11	330263	5185854	20	30	3	23	75%
R12	330270	5185938	20	30	4	24	80%
R13	330448	5185830	20	30	2	22	73%
R14	330505	5185833	20	30	1	21	71%
R15	330426	5185941	20	30	3	23	77%
R16	330492	5185928	20	30	2	22	73%
R17	330296	5186104	20	30	2	22	72%
R18	330286	5186180	20	30	2	22	72%
R19	330364	5186235	20	30	1	21	71%
R20	330428	5186205	20	30	2	22	74%
R21	330490	5186173	20	30	4	24	79%
R22	330662	5186044	20	30	3	23	77%
R23	330406	5186333	20	30	1	21	70%
R24	330536	5186260	20	30	2	22	72%
R25	330574	5186218	20	30	4	24	79%
R26	329918	5185748	20	30	1	21	71%
R27	330910	5186188	20	30	1	21	70%
R28	331488	5186608	20	30	< 0,5	20	68%
R29	331398	5186770	20	30	< 0,5	20	68%
R30	331907	5186946	20	30	< 0,5	20	67%
R31	331287	5187244	20	30	< 0,5	20	68%
R32	330948	5187198	20	30	1	21	69%
R33	330561	5187121	20	30	1	21	69%
R34	330301	5186990	20	30	1	21	71%
R35	330463	5186935	20	30	2	22	72%
R36	330431	5186849	20	30	3	23	77%
R37	330468	5186812	20	30	5	25	82%
R38	330487	5186757	20	30	4	24	81%
R39	330536	5186711	20	30	3	23	77%
R40	330505	5186694	20	30	2	22	73%
R41	330487	5186644	20	30	1	21	71%
R42	330407	5186646	20	30	3	23	77%
R43	330309	5186752	20	30	7	27	89%
R44	330229	5186865	20	30	2	22	73%
R45	330137	5186747	20	30	2	22	72%
R46	330237	5186605	20	30	2	22	72%
R47	330039	5186729	20	30	1	21	70%

8.1.3 Dioxyde de soufre (SO₂)

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 SO₂

Récepteurs	Coord. X	Coord. Y	Période 4 minutes					Période journalière (24h)					Période annuelle				
			Conc. initiale (µg/m³)	Norme (µg/m³)	Conc. max. du modèle (µg/m³)	Conc. totale (µg/m³)	% Norme (incluant conc. initiale)	Conc. initiale (µg/m³)	Norme (µg/m³)	Conc. max. du modèle (µg/m³)	Conc. totale (µg/m³)	% Norme (incluant conc. initiale)	Conc. initiale (µg/m³)	Norme (µg/m³)	Conc. max. du modèle (µg/m³)	Conc. totale (µg/m³)	% Norme (incluant conc. initiale)
R1	329918	5185748	150	1050	5	155	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R2	330015	5185674	150	1050	6	156	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R3	330005	5185924	150	1050	7	157	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R4	330066	5185857	150	1050	8	158	15%	50	288	< 0,5	50	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R5	330145	5185759	150	1050	8	158	15%	50	288	< 0,5	50	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R6	330147	5185930	150	1050	12	162	15%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R7	330226	5185696	150	1050	11	161	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R8	330214	5185850	150	1050	12	162	15%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R9	330223	5185941	150	1050	17	167	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R10	330323	5185826	150	1050	22	172	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R11	330263	5185854	150	1050	17	167	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R12	330270	5185938	150	1050	20	170	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R13	330448	5185830	150	1050	20	170	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R14	330505	5185833	150	1050	18	168	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R15	330426	5185941	150	1050	46	196	19%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R16	330492	5185928	150	1050	32	182	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R17	330296	5186104	150	1050	22	172	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R18	330286	5186180	150	1050	26	176	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R19	330364	5186235	150	1050	20	170	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R20	330428	5186205	150	1050	33	183	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R21	330490	5186173	150	1050	44	194	18%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R22	330662	5186044	150	1050	28	178	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R23	330406	5186333	150	1050	12	162	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R24	330536	5186260	150	1050	16	166	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R25	330574	5186218	150	1050	31	181	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R26	329918	5185748	150	1050	10	160	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R27	330910	5186188	150	1050	9	159	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R28	331488	5186608	150	1050	2	152	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R29	331398	5186770	150	1050	4	154	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R30	331907	5186946	150	1050	2	152	14%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R31	331287	5187244	150	1050	3	153	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R32	330948	5187198	150	1050	5	155	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R33	330561	5187121	150	1050	5	155	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R34	330301	5186990	150	1050	12	162	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R35	330463	5186935	150	1050	15	165	16%	50	288	< 0,5	50	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R36	330431	5186849	150	1050	29	179	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R37	330468	5186812	150	1050	41	191	18%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R38	330487	5186757	150	1050	68	218	21%	50	288	2	52	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R39	330536	5186711	150	1050	38	188	18%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R40	330505	5186694	150	1050	33	183	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R41	330487	5186644	150	1050	32	182	17%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R42	330407	5186646	150	1050	47	197	19%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R43	330309	5186752	150	1050	69	219	21%	50	288	2	52	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R44	330229	5186865	150	1050	11	161	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R45	330137	5186747	150	1050	13	163	16%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%
R46	330237	5186605	150	1050	22	172	16%	50	288	1	51	18%	30	103	< 0,5	30	29%
R47	330039	5186729	150	1050	10	160	15%	50	288	< 0,5	50	17%	30	103	< 0,5	30	29%

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 90% 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/m³)	Norme (µg/m³)	Maximum du modèle (µg/m³)	Conc. totale (µg/m³)	% Norme (incluant conc. initiale)	Conc. initiale (µg/m³)	Norme (µg/m³)	Maximum du modèle (µg/m³)	Conc. totale (µg/m³)	% Norme (incluant conc. initiale)	Conc. initiale (µg/m³)	Norme (µg/m³)	Maximum du modèle (µg/m³)	Conc. totale (µg/m³)	% Norme (incluant conc. initiale)
R1	329918	5185748	68	414	44	112	27%	50	207	6	56	27%	18	103	1	19	18%
R2	330015	5185674	68	414	48	116	28%	50	207	7	57	28%	18	103	1	19	18%
R3	330005	5185924	68	414	58	126	30%	50	207	8	58	28%	18	103	1	19	19%
R4	330066	5185857	68	414	62	130	31%	50	207	11	61	29%	18	103	1	19	19%
R5	330145	5185759	68	414	58	126	30%	50	207	10	60	29%	18	103	1	19	18%
R6	330147	5185930	68	414	103	171	42%	50	207	18	68	33%	18	103	3	21	20%
R7	330226	5185696	68	414	96	164	40%	50	207	16	66	32%	18	103	2	20	19%
R8	330214	5185850	68	414	90	158	38%	50	207	16	66	32%	18	103	2	20	19%
R9	330223	5185941	68	414	141	209	50%	50	207	30	80	39%	18	103	4	22	21%
R10	330323	5185826	68	414	196	264	64%	50	207	36	86	42%	18	103	4	22	21%
R11	330263	5185854	68	414	145	212	51%	50	207	19	69	33%	18	103	3	21	20%
R12	330270	5185938	68	414	175	243	59%	50	207	36	86	42%	18	103	4	22	22%
R13	330448	5185830	68	414	252	320	77%	50	207	33	83	40%	18	103	3	21	20%
R14	330505	5185833	68	414	240	308	74%	50	207	24	74	36%	18	103	2	20	19%
R15	330426	5185941	68	414	317	385	93%	50	207	68	118	57%	18	103	7	25	24%
R16	330492	5185928	68	414	197	265	64%	50	207	25	75	36%	18	103	2	20	20%
R17	330296	5186104	68	414	96	164	40%	50	207	13	63	30%	18	103	1	19	19%
R18	330286	5186180	68	414	88	156	38%	50	207	12	62	30%	18	103	1	19	18%
R19	330364	5186235	68	414	115	183	44%	50	207	7	57	28%	18	103	1	19	18%
R20	330428	5186205	68	414	166	234	57%	50	207	18	68	33%	18	103	1	19	19%
R21	330490	5186173	68	414	320	388	94%	50	207	28	78	38%	18	103	3	21	21%
R22	330662	5186044	68	414	124	192	46%	50	207	13	63	30%	18	103	2	20	19%
R23	330406	5186333	68	414	72	140	34%	50	207	8	58	28%	18	103	1	19	18%
R24	330536	5186260	68	414	168	236	57%	50	207	14	64	31%	18	103	1	19	19%
R25	330574	5186218	68	414	200	268	65%	50	207	31	81	39%	18	103	3	21	20%
R26	329918	5185748	68	414	88	156	38%	50	207	15	65	31%	18	103	1	19	18%
R27	330910	5186188	68	414	74	142	34%	50	207	6	56	27%	18	103	1	19	18%
R28	331488	5186608	68	414	26	94	23%	50	207	2	52	25%	18	103	< 1	18	18%
R29	331398	5186770	68	414	33	101	24%	50	207	3	53	26%	18	103	< 1	18	18%
R30	331907	5186946	68	414	18	86	21%	50	207	2	52	25%	18	103	< 1	18	18%
R31	331287	5187244	68	414	27	95	23%	50	207	4	54	26%	18	103	< 1	18	18%
R32	330948	5187198	68	414	36	104	25%	50	207	4	54	26%	18	103	1	19	18%
R33	330561	5187121	68	414	45	113	27%	50	207	4	54	26%	18	103	< 1	18	18%
R34	330301	5186990	68	414	126	194	47%	50	207	9	59	29%	18	103	1	19	18%
R35	330463	5186935	68	414	85	153	37%	50	207	9	59	29%	18	103	1	19	19%
R36	330431	5186849	68	414	127	195	47%	50	207	23	73	35%	18	103	4	22	21%
R37	330468	5186812	68	414	213	281	68%	50	207	39	89	43%	18	103	7	25	24%
R38	330487	5186757	68	414	291	359	87%	50	207	34	84	41%	18	103	5	23	22%
R39	330536	5186711	68	414	161	229	55%	50	207	14	64	31%	18	103	1	19	19%
R40	330505	5186694	68	414	148	216	52%	50	207	9	59	29%	18	103	1	19	19%
R41	330487	5186644	68	414	131	199	48%	50	207	14	64	31%	18	103	1	19	19%
R42	330407	5186646	68	414	285	353	85%	50	207	31	81	39%	18	103	3	21	21%
R43	330309	5186752	68	414	236	304	73%	50	207	43	93	45%	18	103	13	31	30%
R44	330229	5186865	68	414	120	188	45%	50	207	11	61	29%	18	103	1	19	18%
R45	330137	5186747	68	414	82	150	36%	50	207	12	62	30%	18	103	2	20	19%
R46	330237	5186605	68	414	159	228	55%	50	207	17	67	32%	18	103	2	20	19%
R47	330039	5186729	68	414	61	129	31%	50	207	8	58	28%	18	103	1	19	19%

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 23% 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 (µg/m³)	Norme (µg/m³)	Concentration max. du modèle (µg/m³)	Concentration totale (µg/m³)	% Norme (incluant concentration initiale)	Concentration initiale (µg/m³)	Norme (µg/m³)	Concentration max. du modèle (µg/m³)	Concentration totale (µg/m³)	% Norme (incluant concentration initiale)
R1	329918	5185748	2650	34000	269	2919	9%	1750	12700	59	1809	14%
R2	330015	5185674	2650	34000	245	2895	9%	1750	12700	62	1812	14%
R3	330005	5185924	2650	34000	312	2962	9%	1750	12700	93	1843	15%
R4	330066	5185857	2650	34000	395	3045	9%	1750	12700	111	1861	15%
R5	330145	5185759	2650	34000	373	3023	9%	1750	12700	111	1861	15%
R6	330147	5185930	2650	34000	583	3233	10%	1750	12700	217	1967	15%
R7	330226	5185696	2650	34000	338	2988	9%	1750	12700	125	1875	15%
R8	330214	5185850	2650	34000	547	3197	9%	1750	12700	191	1941	15%
R9	330223	5185941	2650	34000	945	3595	11%	1750	12700	377	2127	17%
R10	330323	5185826	2650	34000	541	3191	9%	1750	12700	235	1985	16%
R11	330263	5185854	2650	34000	564	3214	9%	1750	12700	279	2029	16%
R12	330270	5185938	2650	34000	1160	3810	11%	1750	12700	396	2146	17%
R13	330448	5185830	2650	34000	2405	5055	15%	1750	12700	1209	2959	23%
R14	330505	5185833	2650	34000	522	3172	9%	1750	12700	165	1915	15%
R15	330426	5185941	2650	34000	500	3150	9%	1750	12700	118	1868	15%
R16	330492	5185928	2650	34000	1067	3717	11%	1750	12700	331	2081	16%
R17	330296	5186104	2650	34000	737	3387	10%	1750	12700	136	1886	15%
R18	330286	5186180	2650	34000	878	3528	10%	1750	12700	182	1932	15%
R19	330364	5186235	2650	34000	604	3254	10%	1750	12700	117	1867	15%
R20	330428	5186205	2650	34000	461	3111	9%	1750	12700	91	1841	14%
R21	330490	5186173	2650	34000	766	3416	10%	1750	12700	150	1900	15%
R22	330662	5186044	2650	34000	1230	3880	11%	1750	12700	214	1964	15%
R23	330406	5186333	2650	34000	667	3317	10%	1750	12700	109	1859	15%
R24	330536	5186260	2650	34000	328	2978	9%	1750	12700	67	1817	14%
R25	330574	5186218	2650	34000	533	3183	9%	1750	12700	94	1844	15%
R26	329918	5185748	2650	34000	1004	3654	11%	1750	12700	186	1936	15%
R27	330910	5186188	2650	34000	363	3013	9%	1750	12700	90	1840	14%
R28	331488	5186608	2650	34000	303	2953	9%	1750	12700	65	1815	14%
R29	331398	5186770	2650	34000	97	2747	8%	1750	12700	21	1771	14%
R30	331907	5186946	2650	34000	142	2792	8%	1750	12700	34	1784	14%
R31	331287	5187244	2650	34000	73	2723	8%	1750	12700	14	1764	14%
R32	330948	5187198	2650	34000	117	2767	8%	1750	12700	23	1773	14%
R33	330561	5187121	2650	34000	152	2802	8%	1750	12700	31	1781	14%
R34	330301	5186990	2650	34000	199	2849	8%	1750	12700	44	1794	14%
R35	330463	5186935	2650	34000	468	3118	9%	1750	12700	119	1869	15%
R36	330431	5186849	2650	34000	435	3085	9%	1750	12700	85	1835	14%
R37	330468	5186812	2650	34000	852	3502	10%	1750	12700	213	1963	15%
R38	330487	5186757	2650	34000	1292	3942	12%	1750	12700	352	2102	17%
R39	330536	5186711	2650	34000	1596	4246	12%	1750	12700	355	2105	17%
R40	330505	5186694	2650	34000	938	3588	11%	1750	12700	172	1922	15%
R41	330487	5186644	2650	34000	933	3583	11%	1750	12700	168	1918	15%
R42	330407	5186646	2650	34000	946	3596	11%	1750	12700	216	1966	15%
R43	330309	5186752	2650	34000	1690	4340	13%	1750	12700	334	2084	16%
R44	330229	5186865	2650	34000	1723	4373	13%	1750	12700	488	2238	18%
R45	330137	5186747	2650	34000	834	3484	10%	1750	12700	178	1928	15%
R46	330237	5186605	2650	34000	496	3146	9%	1750	12700	110	1860	15%
R47	330039	5186729	2650	34000	639	3289	10%	1750	12700	164	1914	15%

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 46% 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 (µg/m³)	Norme (µg/m³)	Concentration maximale du modèle (µg/m³)	Concentration totale (µg/m³)	% Norme (incluant concentration initiale)
R1	329918	5185748	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R2	330015	5185674	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R3	330005	5185924	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R4	330066	5185857	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R5	330145	5185759	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R6	330147	5185930	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	36%
R7	330226	5185696	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R8	330214	5185850	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R9	330223	5185941	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	37%
R10	330323	5185826	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	36%
R11	330263	5185854	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	36%
R12	330270	5185938	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	38%
R13	330448	5185830	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R14	330505	5185833	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R15	330426	5185941	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	37%
R16	330492	5185928	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R17	330296	5186104	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R18	330286	5186180	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R19	330364	5186235	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R20	330428	5186205	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R21	330490	5186173	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R22	330662	5186044	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R23	330406	5186333	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R24	330536	5186260	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R25	330574	5186218	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R26	329918	5185748	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R27	330910	5186188	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R28	331488	5186608	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R29	331398	5186770	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R30	331907	5186946	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R31	331287	5187244	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R32	330948	5187198	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R33	330561	5187121	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R34	330301	5186990	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	33%
R35	330463	5186935	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R36	330431	5186849	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	37%
R37	330468	5186812	0,0003	0,0009	5.00E-05	0.0004	39%
R38	330487	5186757	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	38%
R39	330536	5186711	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R40	330505	5186694	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R41	330487	5186644	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R42	330407	5186646	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	36%
R43	330309	5186752	0,0003	0,0009	0.00011	0.0004	46%
R44	330229	5186865	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R45	330137	5186747	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R46	330237	5186605	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%
R47	330039	5186729	0,0003	0,0009	< 0,00005	0.0003	34%

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

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_{2.5D}

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 (incluant concentration initiale)
R1	329918	5185748	20	30	< 0,5	20	67%
R2	330015	5185674	20	30	< 0,5	20	67%
R3	330005	5185924	20	30	< 0,5	20	67%
R4	330066	5185857	20	30	< 0,5	20	68%
R5	330145	5185759	20	30	< 0,5	20	68%
R6	330147	5185930	20	30	1	21	69%
R7	330226	5185696	20	30	< 0,5	20	68%
R8	330214	5185850	20	30	1	21	68%
R9	330223	5185941	20	30	1	21	70%
R10	330323	5185826	20	30	1	21	69%
R11	330263	5185854	20	30	1	21	69%
R12	330270	5185938	20	30	1	21	71%
R13	330448	5185830	20	30	< 0,5	20	68%
R14	330505	5185833	20	30	< 0,5	20	68%
R15	330426	5185941	20	30	1	21	69%
R16	330492	5185928	20	30	< 0,5	20	68%
R17	330296	5186104	20	30	< 0,5	20	68%
R18	330286	5186180	20	30	< 0,5	20	68%
R19	330364	5186235	20	30	< 0,5	20	67%
R20	330428	5186205	20	30	< 0,5	20	67%
R21	330490	5186173	20	30	1	21	68%
R22	330662	5186044	20	30	< 0,5	20	68%
R23	330406	5186333	20	30	< 0,5	20	67%
R24	330536	5186260	20	30	< 0,5	20	67%
R25	330574	5186218	20	30	1	21	68%
R26	329918	5185748	20	30	< 0,5	20	67%
R27	330910	5186188	20	30	< 0,5	20	67%
R28	331488	5186608	20	30	< 0,5	20	67%
R29	331398	5186770	20	30	< 0,5	20	67%
R30	331907	5186946	20	30	< 0,5	20	67%
R31	331287	5187244	20	30	< 0,5	20	67%
R32	330948	5187198	20	30	< 0,5	20	67%
R33	330561	5187121	20	30	< 0,5	20	67%
R34	330301	5186990	20	30	< 0,5	20	68%
R35	330463	5186935	20	30	< 0,5	20	68%
R36	330431	5186849	20	30	1	21	69%
R37	330468	5186812	20	30	1	21	70%
R38	330487	5186757	20	30	1	21	70%
R39	330536	5186711	20	30	< 0,5	20	68%
R40	330505	5186694	20	30	< 0,5	20	68%
R41	330487	5186644	20	30	< 0,5	20	68%
R42	330407	5186646	20	30	1	21	69%
R43	330309	5186752	20	30	2	22	73%
R44	330229	5186865	20	30	< 0,5	20	68%
R45	330137	5186747	20	30	< 0,5	20	68%
R46	330237	5186605	20	30	< 0,5	20	68%
R47	330039	5186729	20	30	< 0,5	20	67%

9. Conclusion

La construction du tramway de Québec pourrait émettre 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. Des dépassements des normes sont observés pour les PST.

Les dépassements de PST représentent 579 journées uniques sur 1 826 jours (5 années – ce qui représente le pire scénario), soit une fréquence de dépassement d'environ 31,7%. En revanche, 80% de ces dépassements ont 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. La modélisation de la dispersion atmosphérique considère également que les travaux de construction du tunnel (dynamitage) ont toujours lieu sur les entrées de surface et ce pendant toute la durée de la construction, ce qui n'est évidemment pas la réalité. Les dynamitages avanceront sous terre et s'éloigneront peu à peu des entrées, ce qui limitera l'apport de particule à l'extérieur vers les récepteurs sensibles. Cette approche conservatrice surestime nécessairement les concentrations de PST.

Des mesures 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 quantité de dépassements enregistrés par le modèle, il est suggéré d'effectuer une analyse des impacts de la qualité de l'air lorsque les activités de construction seront définies et que l'emplacement exact des embouchures sera connu. À cet effet, le Partenaire privé devra refaire la modélisation pour en valider les résultats en fonction des normes applicables. Il devra faire en sorte que les méthodes de travail choisies et les mesures de mitigation mises en place permettent le respect des normes prescrites. De plus, 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 32% 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 le Partenaire privé 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 30 mois. 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. Le Partenaire privé 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 Thermoelectric 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-%20SJV%20Roadway.pdf>
- Thielen, H., & Schrödl, 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 boueur (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 :

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

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 considérées 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 2-1 présente les taux d'émission en fonction de la puissance et des normes d'émission (TIER) des équipements.

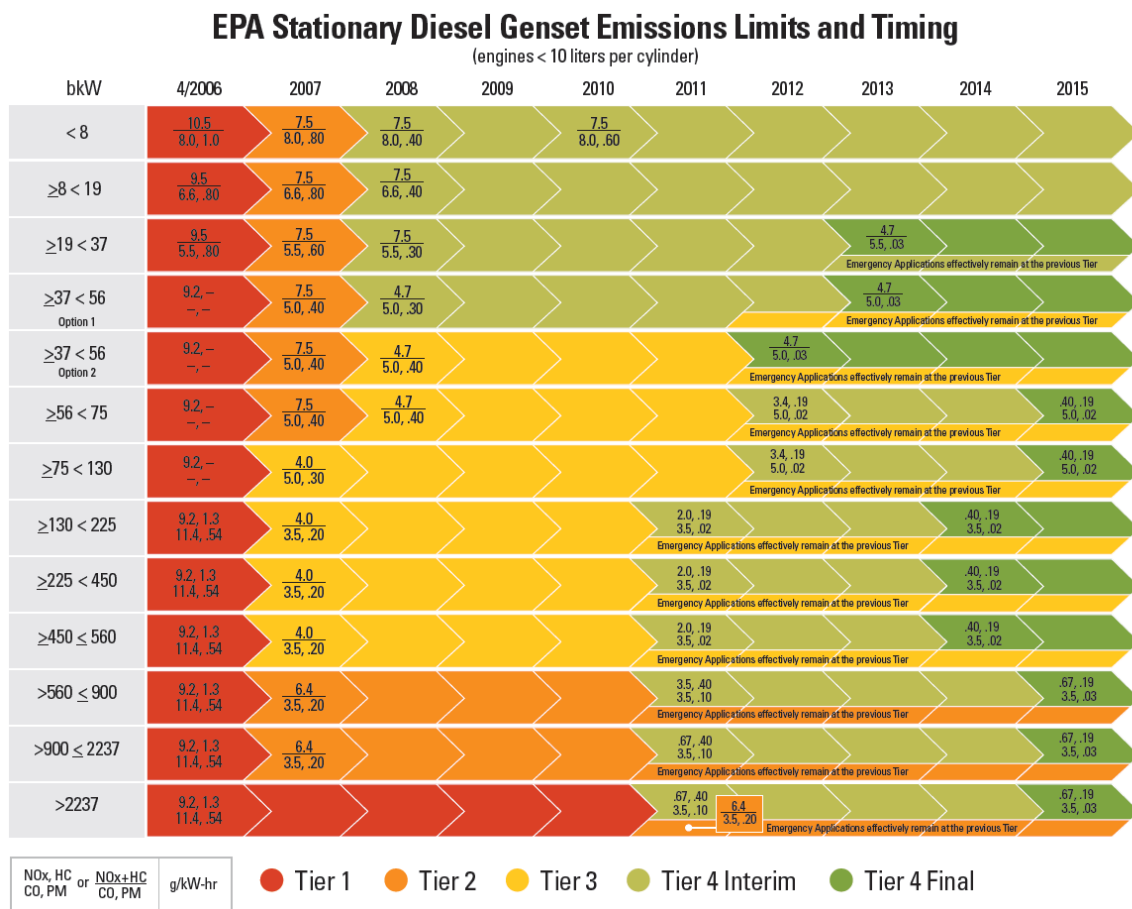


Figure 2-1: Taux d'émissions de génératrices au diesel (US EPA)

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 :

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

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.

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

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 :

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

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 :

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

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 boueur 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) :

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

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

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

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 :

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

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 boueur (valeurs de variable k fournie par l'AP-42 section «aggregate handling» du chapitre 13.2.4) :

¹ VKT – Véhicule – kilomètres – parcourus

$$PST (manut. sol) \frac{kg}{t} = \text{Facteur taille particule (k)} * 0,0016 * \frac{\left(\frac{vit. vent \left(\frac{m}{s} \right)}{2,2} \right)^{1,3}}{\left(\frac{\% humidité}{2} \right)^{1,4}}$$

$$= 1 * 0,0016 * \left(\frac{3,96}{2,2} \right)^{1,3} \Bigg/ \left(\frac{3,4}{2} \right)^{1,4} = 1,63 \times 10^{-3} \frac{kg}{t}$$

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

$Taux\ émission_{PST}$

$$= PST (manut. sol) \left(\frac{kg}{t} \right) * Qté\ sol\ (t) * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1}{Nb\ jours\ de\ travaux} * \frac{j}{Nb\ heures}$$

$$* \frac{1h}{3600s} = 1,63 \times 10^{-3} \frac{kg}{t} * 19\ 110\ t * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1}{588} * \frac{1}{24} * \frac{1}{3600} = 6,1 \times 10^{-4} \frac{g}{s}$$

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 2-5) ;
- 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.

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

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 :

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

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:

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

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

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

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 :

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

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 :

$$\begin{aligned}
& PST \text{ (route pavée, atténué)} \frac{g}{s} \\
& = PST \text{ (route pavée, atténué)} \frac{g}{VKT} * Distance \text{ moy. (km)} * nb \text{ trajets} * \frac{1h}{3600s} \\
& = 27 \frac{g}{VKT} * 0,32 \text{ km} * 7 * \frac{1h}{3600s} = \mathbf{0,02 \frac{g}{s}}
\end{aligned}$$

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.

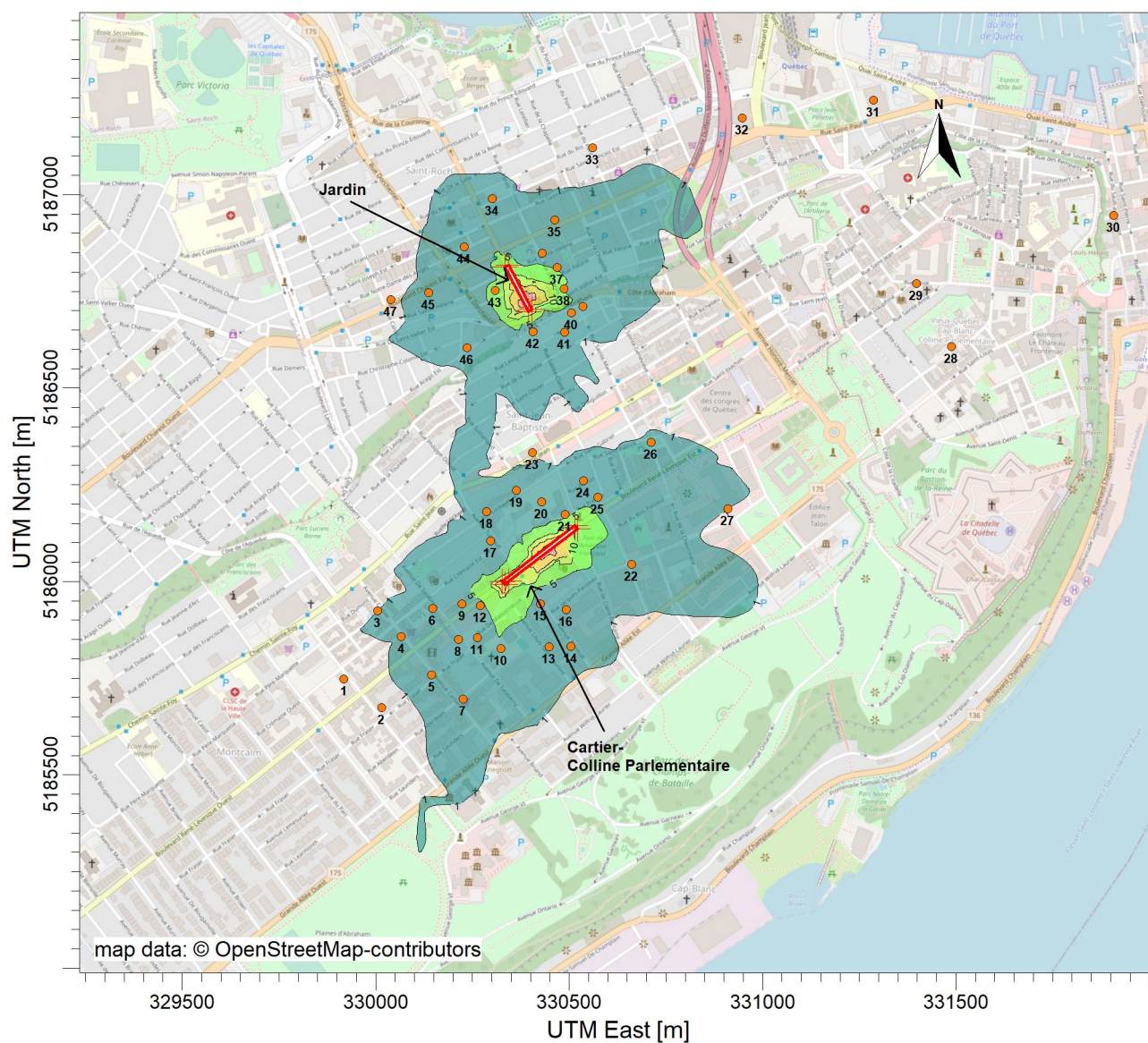
ANNEXE B

Figures

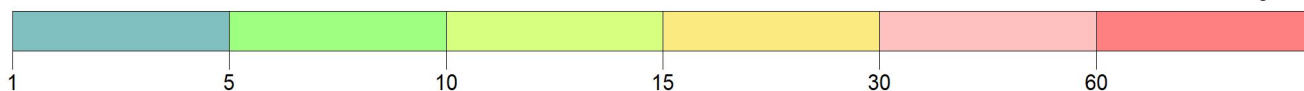




Titre du projet:

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



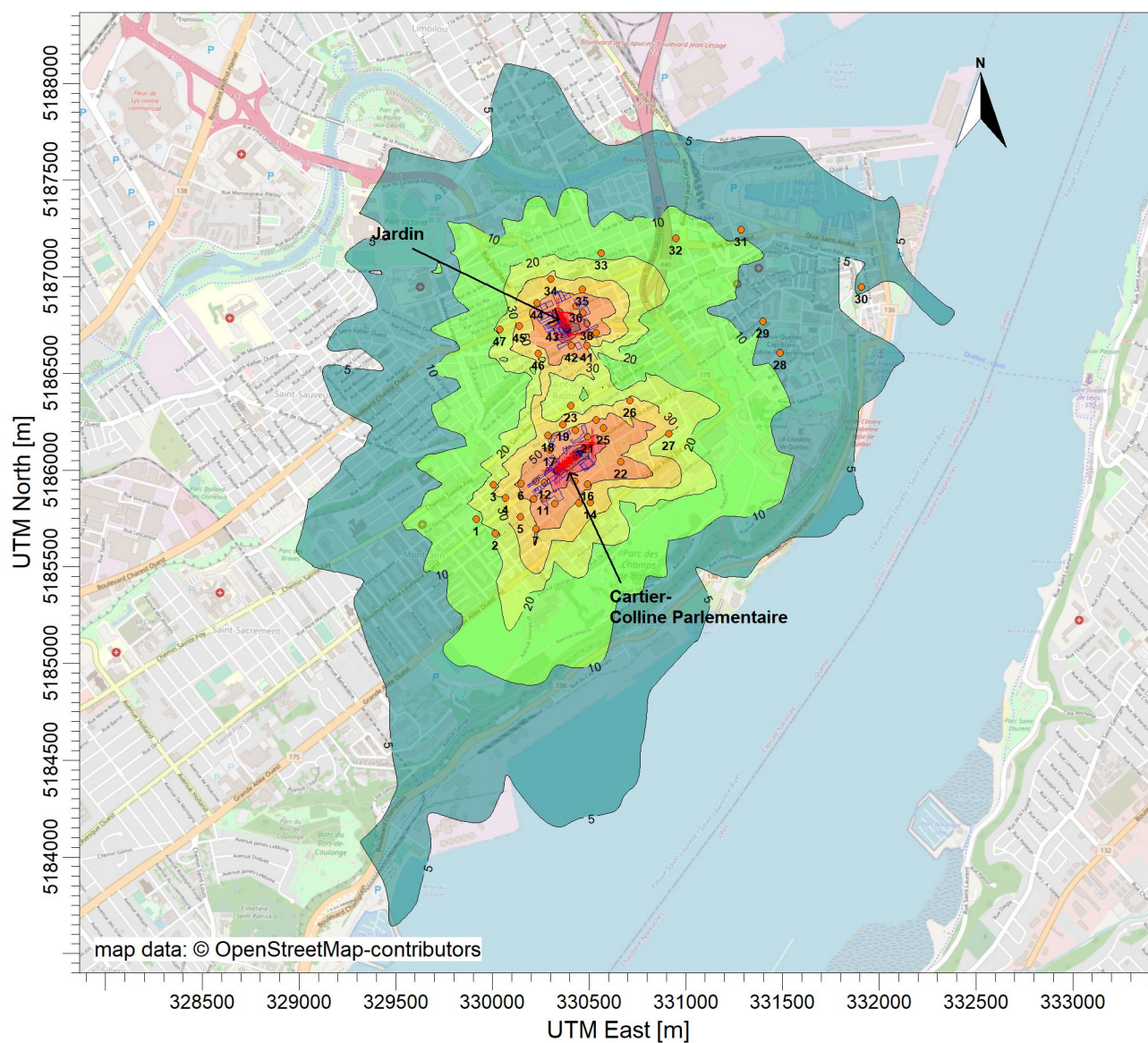
ug/m³



Commentaire: Résultats sans concentration initiale.	Sources: 30	Nom de la compagnie: Hatch	
	Récepteurs: 1767	Modélisateur: Bonira Khy/Louis Caron	
	Options du Modèle: Concentration	SCALE: 1:17,500 0  0.5 km	
	Maximum:	Date: 3/5/2021	

Titre du projet:

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



Commentaire:

Résultats sans concentration initiale.

Sources:

30

Nom de la compagnie:

Hatch

Récepteurs:

1767

Modélisateur:

Bonira Khy/Louis Caron

Options du Modèle:

Concentration

SCALE:

1:35,000

0

1 km

Maximum:

Date:

3/5/2021

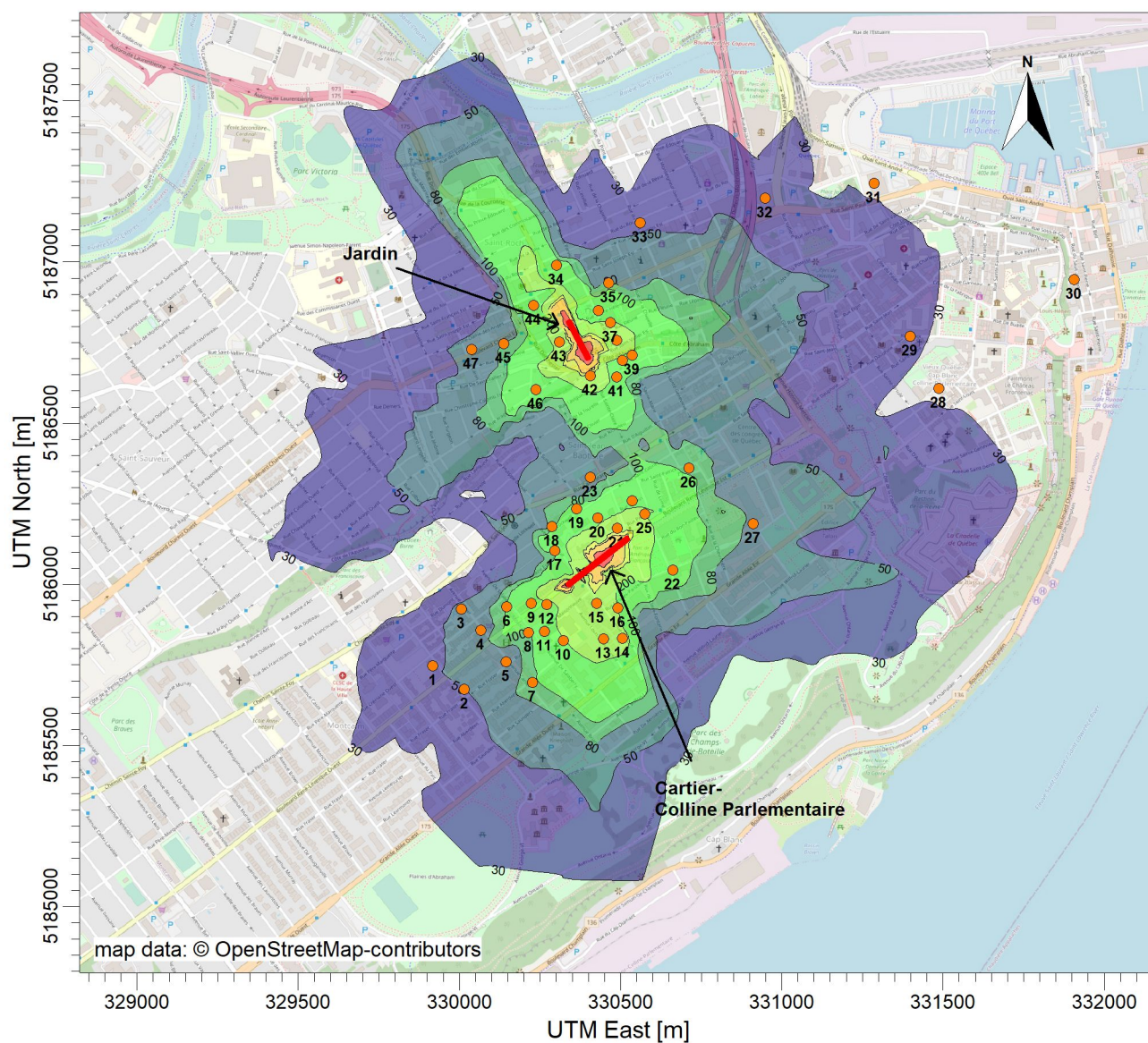
de Projet:

H-360814

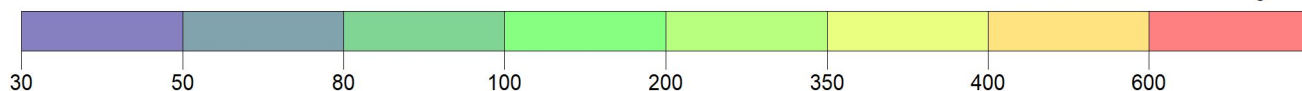




Titre du projet:

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



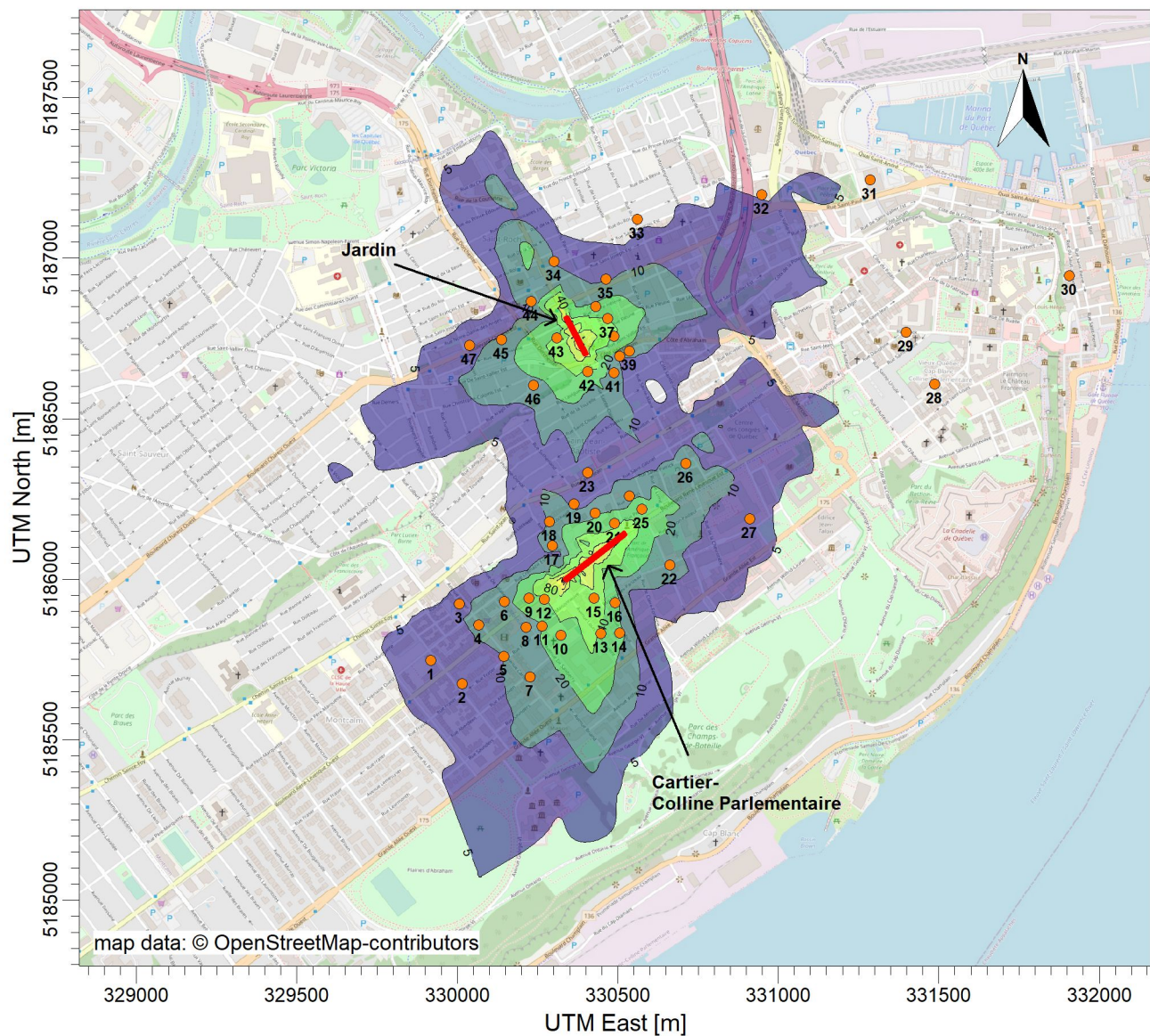
ug/m³



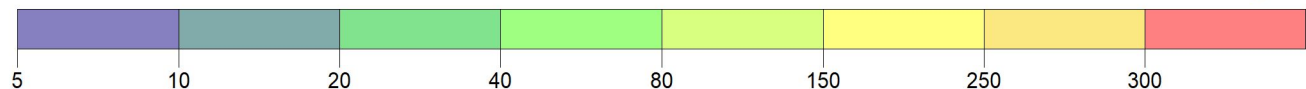
Commentaire: Résultats sans concentration initiale. Méthode OLM appliqué.	Sources: 30	Nom de la compagnie: Hatch	
	Récepteurs: 1767	Modélisateur: Bonira Khy/Louis Caron	
	Options du Modèle: Concentration	SCALE: <div>1:21,000</div> <div>0  0.5 km</div>	
	Maximum:	Date: 3/5/2021	



Titre du projet:

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



ug/m³



Commentaire: Résultats sans concentration initiale. Méthode OLM appliqué.	Sources: 30	Nom de la compagnie: Hatch	
	Récepteurs: 1767	Modélisateur: Bonira Khy/Louis Caron	
	Options du Modèle: Concentration	SCALE: 1:21,000 0  0.5 km	
	Maximum:	Date: 3/5/2021	# de Projet: H-360814