



RÉSEAU STRUCTURANT DE TRANSPORT EN COMMUN

MANDAT 10.1 – ÉTUDE ACOUSTIQUE



MÉMOIRE TECHNIQUE – RAPPORT D'ÉTUDE ACOUSTIQUE

MANDAT 10.1 – Étude acoustique

IDENTIFICATION DU DOCUMENT	
N° du document SYSTRA Canada	FR01IT19A18-T-IDP3-MT-GE00-0002-B
N° du document client	S.O.

Rév.	Date	Modification	Préparé par	Révisé par	Approuvé par
A	2019-08-14	Rédaction initiale	CF/ WW	EA/DR/EL	RT
B	2019-11-18	Mise à jour des résultats	CF/WW	EA/DR/EL	RT

Préparé par :

Cédric Faure, ing.
Ingénieur acoustique et vibration

Signature

Walide Wasmine
Chargé d'étude – Conformité, bruit et vibrations

Signature

Révisé par :

Eric Augis
Responsable – Acoustique et vibrations

Signature

Didier Rancourt
Spécialiste – Études environnementales

Signature

Éric Lehir
Responsable – Transport urbain

Signature

Approuvé par :

Romain Taillandier, ing.
Responsable – Transport urbain

Signature

TABLE DES MATIÈRES

1.	SOMMAIRE EXÉCUTIF	1
1.1	MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....	1
1.2	DÉFINITION DES CRITÈRES ACOUSTIQUES (ÉTAPE 1)	1
1.3	MESURE ET MODÉLISATION DE L'AMBIANCE SONORE EXISTANTE (ÉTAPES 2 ET 3).....	2
1.4	MODÉLISATION DU BRUIT OCCASIONNÉ PAR L'OPÉRATION DU TRAMWAY (ÉTAPE 4).....	3
1.5	ÉVALUATION DES IMPACTS DU BRUIT DU PROJET SANS MESURES D'ATTÉNUATION (ÉTAPE 5)	4
1.6	DÉFINITION DE MESURES DE MITIGATION DU BRUIT (ÉTAPE 6).....	5
1.7	ÉVALUATION DES IMPACTS RÉSIDUELS APRES MISE EN PLACE DE CES MESURES (ÉTAPE 7)	7
1.8	BRUITS DANS LES SECTEURS AU VOISINAGE DES SECTIONS DE LIGNE SOUTERRAINES	7
1.9	DISCUSSION DES RÉSULTATS	8
2.	OBJET DE L'ÉTUDE	9
3.	NOTIONS D'ACOUSTIQUE	10
3.1	DÉFINITIONS ET GRANDEURS UTILES	10
3.1.1	INTENSITÉ, FRÉQUENCE ET DURÉE	10
3.1.2	L'ÉCHELLE DES DÉCIBELS	10
3.2	LES INDICATEURS UTILISÉS.....	12
3.2.1	NIVEAU DE BRUIT RÉSIDUEL, AMBIANT, PARTICULIER ET EMERGENCE	13
3.2.2	LES SOURCES DE BRUIT	14
3.2.3	DE LA SOURCE AU RÉCEPTEUR	15
3.2.4	LES AVANTAGES ACOUSTIQUES DU MODE FERROVIAIRE.....	15
4.	RÉGLEMENTATION, TEXTES DE RÉFÉRENCE ET PROPOSITION DE CRITÈRES	16
4.1	REVUE DES TEXTES DE RÉFÉRENCE RELATIFS AUX SOURCES MOBILES	16
4.1.1	LIGNES DIRECTRICES CONCERNANT L'EFFET DU BRUIT ROUTIER ET FERROVIAIRE SUR LES HABITATIONS.....	16
4.1.2	MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DU BRUIT DES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES EXISTANTES.....	17
4.1.3	LIGNES DIRECTRICES DU GUIDE FTA (USA).....	18
4.1.4	POLITIQUE SUR LE BRUIT ROUTIER (1998).....	21
4.2	RÉGLEMENTATION APPLICABLE AUX SOURCES DE BRUIT FIXES	22

4.2.1	RÈGLEMENT SUR LE BRUIT R.V.Q. 978 DE LA VILLE DE QUÉBEC.....	22
4.2.2	NOTE D'INSTRUCTIONS RELATIVE AU « TRAITEMENT DES PLAINTES SUR LE BRUIT ET LES EXIGENCES AUX ENTREPRISES QUI LE GÉNÈRE » DU MELCC	25
4.3	RÉSUMÉ DES CRITÈRES ET INDICATEURS RETENUS	27
4.3.1	TRAMWAY EN SURFACE	27
4.3.2	TRAMWAY SOUTERRAIN ET INSTALLATIONS TECHNIQUES EN STATION SOUTERRAINE	28
5.	MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE	30
6.	CARACTÉRISATION DE L'AMBIANCE SONORE EXISTANTE	31
6.1	MESURES DU BRUIT	31
6.2	EFFETS DES VOIES FERRÉES EXISTANTES	37
6.3	MODÉLISATION DE L'AMBIANCE SONORE EXISTANTE	37
6.3.1	MÉTHODOLOGIE	37
6.3.2	HYPOTHÈSES DE TRAFIC	38
6.3.3	HYPOTHÈSES MÉTÉOROLOGIQUES	40
6.3.4	RECALAGE DU MODÈLE	40
6.3.5	RÉSULTATS DE CALCUL	43
6.4	IDENTIFICATION DES ZONES À ENJEUX	81
7.	CARACTÉRISATION DE L'AMBIANCE SONORE EN EXPLOITATION POUR LES SECTIONS EN SURFACE	83
7.1	HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION POUR LA SOURCE TRAMWAY	83
7.1.1	DONNÉES D'ÉMISSION SONORE DU TRAMWAY	83
7.1.2	DONNÉES DE TRAFIC	86
7.1.3	PROFIL DE VITESSES	87
7.1.4	RÉSUMÉ DES HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION DU TRAMWAY	88
7.2	PRÉVISIONS DU TRAFIC ROUTIER LORS DE L'EXPLOITATION DU TRAMWAY	89
7.3	HYPOTHÈSES DE CALCUL	95
7.4	RÉSULTATS ET IMPACTS DIRECTS POUR LES SECTIONS EN SURFACE	95
7.5	ANALYSE DES RÉSULTATS	149
8.	MESURES DE RÉDUCTION DU BRUIT DU PROJET	166
8.1	DÉFINITION DE SOLUTIONS DE RÉDUCTION DE BRUIT APPROPRIÉES	166

8.2	LOCALISATION DES MESURES DE RÉDUCTION DE BRUIT DU PROJET	168
8.3	RÉSULTATS DE SIMULATION AVEC PRISE EN COMPTE DES MESURES DE RÉDUCTION DE BRUIT	169
8.4	ANALYSE DE L'IMPACT ACOUSTIQUE LIÉ AU CENTRE D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN (CEE).....	224
9.	MAÎTRISE DES ÉMISSIONS SONORES POUR LES SECTIONS SOUTERRAINES _____	230
9.1	DÉMARCHE GÉNÉRALE	230
9.2	EXEMPLES DE SOLUTIONS DE RÉDUCTION DE BRUIT POUR LES SECTIONS SOUTERRAINES	232
9.2.1	SILENCIEUX À BAFFLES PARALLÈLES	233
9.2.2	SILENCIEUX CYLINDRIQUES	234
9.2.3	GRILLES ACOUSTIQUES	235
9.2.4	TRAITEMENTS ABSORBANTS	235
9.2.5	ATTÉNUATION ET RÉGÉNÉRATION DU BRUIT DES ÉLÉMENTS PRÉSENTS DANS LES CHEMINS AÉRAULIQUES	236
10.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS _____	237
11.	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE _____	240

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Grille d'évaluation de la qualité de l'environnement sonore (source : [2])	17
Tableau 2 : Catégorie d'usage des sites/bâtiments sensibles au bruit et indicateurs (source: [6])	18
Tableau 3 : Niveau de bruit normalisé maximum admissible pour un lieu habité selon le R.V.Q. 978.	24
Tableau 4 : Facteur pour la normalisation des niveaux de bruit selon le niveau de bruit ambiant préexistant LA,95 %.	24
Tableau 5 : Définition des niveaux de bruit maximums admissibles selon l'usage du terrain affecté d'après le règlement LRQ.....	26
Tableau 6 : Niveaux de bruit normalisés maximums admissibles d'après le règlement R.V.Q. 978 de Québec	28
Tableau 7 : Valeurs de normalisation du niveau de bruit d'après le règlement R.V.Q. 978 de Québec	28
Tableau 8 : Définition des niveaux de bruit maximums admissibles selon l'usage du terrain affecté d'après le règlement LRQ.....	29
Tableau 9 : Localisation et dates des points de mesures	32
Tableau 10 : Relevé du trafic routier selon différentes catégories de véhicules	39
Tableau 11 : Résultats du recalage du modèle et comparaison entre les mesures et le modèle (en dB(A))	41
Tableau 12 : Définition des ambiances sonores selon le niveau de bruit résiduel	43
Tableau 13 : Critères d'identification des secteurs à enjeux	81
Tableau 14 : Identification des niveaux d'enjeu acoustique de chaque section du projet	81

Tableau 15 : Spectre de niveau de pression acoustique au passage retenu pour l'étude d'impact.....	84
Tableau 16 : Spectre de puissance acoustique du spectre de gabarit tramway présenté en figure précédente	86
Tableau 17 : Récapitulatif des fréquences de tramway pour une journée.....	87
Tableau 18 : Résumé des hypothèses de modélisation du tramway selon le type de voie	88
Tableau 19 : Évolution du trafic routier entre le trafic routier existant et le trafic routier en exploitation du tramway	90
Tableau 20 : Critères d'identification des niveaux d'impact et code couleur utilisé.....	95
Tableau 21 : Trafic d'entrée et sortie pour le centre de remisage - Station 41 ^e Rue.....	225
Tableau 22 : Niveau d'impact des récepteurs proches du CEE le long de la voie nord – Station 41 ^e Rue	228
Tableau 23 : Niveau d'impact des récepteurs proches du CEE le long de la voie sud – Station 41 ^e Rue	228
Tableau 24 : Atténuation type d'un silencieux avec des baffles de 100 mm espacés de 100 mm (dB) selon sa longueur	233
Tableau 25 : Atténuation type d'un silencieux avec des baffles de 200 mm espacés de 100 mm (dB) selon sa longueur	233
Tableau 26 : Atténuation type d'un silencieux cylindrique sans bulbe d'épaisseur 50 mm et de diamètre 100 mm (dB) selon sa longueur	234
Tableau 27 : Atténuation type d'un silencieux cylindrique avec bulbe d'épaisseur 100 mm et de diamètre 400 mm (dB) selon sa longueur	234
Tableau 28 : Atténuation type d'une grille acoustique en sortie de gaine	235
Tableau 29 : Détails des seuils de niveaux de bruit maximums admissibles pour le tramway seul selon le guide FTA.....	2
Tableau 30 : Seuils à partir desquels un bruit est à caractère tonal d'après LRQ.....	3

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue générale du tracé de la ligne de tramway dans la ville de Québec.....	9
Figure 2 : Échelle du décibel (source : ADEME).....	11
Figure 3 : Perception du son en fonction de la fréquence, Filtre de pondération A (source : [13])	12
Figure 4 : Exemple d'application de la méthode de calcul des niveaux de bruit ambiant et de l'émergence	14
Figure 5 : Gêne provoquée par le bruit des transports en Europe	15
Figure 6 : Effets du bruit routier ou ferroviaire sur les logements (source : [1])	16
Figure 7 : Critères d'impact sonore pour des systèmes de transport en fonction du niveau de bruit préexistant, selon le guide FTA [6]	19
Figure 8 : Émergence maximale admissible et niveau d'impact associé pour chaque critère associé aux sites de catégories 1 et 2	20
Figure 9 : Critères d'impact sonore pour des systèmes de transport en fonction du niveau de bruit préexistant, avec seuil d'impact faible	21
Figure 10 : Grille d'évaluation de l'impact sonore du Bruit routier (projet de construction ou de reconstruction) selon la Politique sur le Bruit routier du Ministère des Transports du Québec, 1998 [3].....	22

Figure 11 : Contribution sonore maximale du projet en fonction du niveau de bruit préexistant, selon la catégorie de bâtiment Catégorie 1 (bâtiments très sensibles) et 3 (institutions) : LAeq(1 hr);	
Catégorie 2 (bâtiments résidentiels) : L _{DN}	27
Figure 12 : Vue d'ensemble de la localisation des points de mesures le long du tracé, Zone Sud-Ouest	34
Figure 13 : Vue d'ensemble de la localisation des points de mesures le long du tracé, Zone Sud-Est	35
Figure 14 : Vue d'ensemble de la localisation des points de mesures le long du tracé, Zone Nord-Est	36
Figure 15 : Localisation des voies ferrées existantes autour du projet	37
Figure 16 : Calepinage des planches de cartographie de bruit 1/2	45
Figure 17 : Calepinage des planches de cartographie de bruit 2/2	46
Figure 18 : Cartographie de bruit – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	47
Figure 19 : Cartographie de bruit – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	48
Figure 20 : Cartographie de bruit – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	49
Figure 21 : Cartographie de bruit – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	50
Figure 22 : Cartographie de bruit – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	51
Figure 23 : Cartographie de bruit – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	52
Figure 24 : Cartographie de bruit – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	53
Figure 25 : Cartographie de bruit – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	54
Figure 26 : Cartographie de bruit – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	55
Figure 27 : Cartographie de bruit – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	56
Figure 28 : Cartographie de bruit – Secteur Université Laval – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	57
Figure 29 : Cartographie de bruit – Secteur Université Laval – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	58
Figure 30 : Cartographie de bruit – Secteur Desjardins – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	59
Figure 31 : Cartographie de bruit – Secteur Desjardins – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	60
Figure 32 : Cartographie de bruit – Secteur Holland – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	61
Figure 33 : Cartographie de bruit – Secteur Holland – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	62
Figure 34 : Cartographie de bruit – Secteur Belvédère – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	63
Figure 35 : Cartographie de bruit – Secteur Belvédère – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	64
Figure 36 : Cartographie de bruit – Secteur Brown – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	65
Figure 37 : Cartographie de bruit – Secteur Brown – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	66
Figure 38 : Cartographie de bruit – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	67
Figure 39 : Cartographie de bruit – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	68
Figure 40 : Cartographie de bruit – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit L _D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	69
Figure 41 : Cartographie de bruit – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit L _N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	70

Figure 42 : Cartographie de bruit – Secteur Hôpital St-François-d'Assise – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	71
Figure 43 : Cartographie de bruit – Secteur Hôpital St-François d'Assise – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	72
Figure 44 : Cartographie de bruit – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	73
Figure 45 : Cartographie de bruit – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	74
Figure 46 : Cartographie de bruit – Secteur 41 ^e Rue – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	75
Figure 47 : Cartographie de bruit – Secteur 41 ^e Rue – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	76
Figure 48 : Cartographie de bruit – Secteur 55 ^e Rue – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	77
Figure 49 : Cartographie de bruit – Secteur 55 ^e Rue – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	78
Figure 50 : Cartographie de bruit – Secteur 76 ^e Rue – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	79
Figure 51 : Cartographie de bruit – Secteur 76 ^e Rue – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	80
Figure 52 : Position des sources acoustiques équivalentes selon la norme NMPB 2008	84
Figure 53 : Spectre typique (gabarit) de niveau de bruit au passage ($L_{pAeq,Tp}$) d'un tramway à 40 km/h à 7,5 m de l'axe de la voie	86
Figure 54 : Vitesse maximale selon le tronçon le long de la ligne de tramway	87
Figure 55 : Calepinage des planches de cartographie de bruit 1/2	96
Figure 56 : Calepinage des planches de cartographie de bruit 2/2	97
Figure 57 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	98
Figure 58 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	99
Figure 59 : Impact direct du projet - Secteur Le Gendre – Échelle 1/4000 ^e	100
Figure 60 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	101
Figure 61 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	102
Figure 62 : Impact direct du projet - Secteur Sainte-Foy – Échelle 1/4000 ^e	103
Figure 63 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	104
Figure 64 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	105
Figure 65 : Impact direct du projet - Secteur Pie-XII – Échelle 1/4000 ^e	106
Figure 66 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	107
Figure 67 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	108
Figure 68 : Impact direct du projet - Secteur Roland-Beaudin – Échelle 1/4000 ^e	109

Figure 69 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Sainte-Foy Ouest – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	110
Figure 70 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Sainte-Foy Ouest – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	111
Figure 71 : Impact direct du projet - Secteur Sainte-Foy Ouest – Échelle 1/4000 ^e	112
Figure 72 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Université Laval – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	113
Figure 73 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Université Laval – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	114
Figure 74 : Impact direct du projet - Secteur Université Laval – Échelle 1/4000 ^e	115
Figure 75 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Desjardins – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	116
Figure 76 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Desjardins – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	117
Figure 77 : Impact direct du projet - Secteur Desjardins – Échelle 1/4000 ^e	118
Figure 78 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Holland – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	119
Figure 79 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Holland – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	120
Figure 80 : Impact direct du projet - Secteur Holland – Échelle 1/4000 ^e	121
Figure 81 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Belvédère – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	122
Figure 82 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Belvédère – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	123
Figure 83 : Impact direct du projet - Secteur Belvédère – Échelle 1/4000 ^e	124
Figure 84 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Brown – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	125
Figure 85 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Brown – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	126
Figure 86 : Impact direct du projet - Secteur Brown – Échelle 1/4000 ^e	127
Figure 87 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	128
Figure 88 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	129
Figure 89 : Impact direct du projet - Secteur Centre-des-congrès – Échelle 1/4000 ^e	130
Figure 90 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	131
Figure 91 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	132
Figure 92 : Impact direct du projet - Secteur Saint-Roch – Échelle 1/4000 ^e	133

Figure 93 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Hôpital St-François d'Assise – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	134
Figure 94 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Hôpital St-François d'Assise – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	135
Figure 95 : Impact direct du projet - Secteur Hôpital St-François d'Assise – Échelle 1/4000 ^e	136
Figure 96 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	137
Figure 97 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Patro Roc Amadour – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	138
Figure 98 : Impact direct du projet - Secteur Patro Roc-Amadour – Échelle 1/4000 ^e	139
Figure 99 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 41 ^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	140
Figure 100 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 41 ^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	141
Figure 101 : Impact direct du projet - Secteur 41 ^e Rue – Échelle 1/4000 ^e	142
Figure 102 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 55 ^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	143
Figure 103 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 55 ^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	144
Figure 104 : Impact direct du projet - Secteur 55 ^e Rue – Échelle 1/4000 ^e	145
Figure 105 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 76 ^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	146
Figure 106 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 76 ^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	147
Figure 107 : Impact direct du projet - Secteur 76 ^e Rue – Échelle 1/4000 ^e	148
Figure 108 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 1/15	151
Figure 109 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 2/15	152
Figure 110 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 3/15	153
Figure 111 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 4/15	154
Figure 112 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 5/15	155
Figure 113 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 6/15	156
Figure 114 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 7/15	157
Figure 115 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 8/15	158
Figure 116 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 9/15	159
Figure 117 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 10/15	160
Figure 118 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 11/15	161
Figure 119 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 12/15	162
Figure 120 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 13/15	163
Figure 121 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 14/15	164

Figure 122 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 15/15	165
Figure 123 : Exemples d'écrans antibruit	167
Figure 124 : Illustration d'une solution mixte (combinaison merlon avec un faible écran acoustique) proche d'une voie	167
Figure 125 : Illustration d'une vue d'un paysage en présence d'un merlon	167
Figure 126 : Exemples de revêtements de plateformes : gazon et ballast	168
Figure 127 : Localisation des écrans antibruit	169
Figure 128 : Illustration des effets d'un écran antibruit de 2,5 m, en coupe verticale	169
Figure 129 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact avec mesures de réduction de bruit	171
Figure 130 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000	172
Figure 131 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	173
Figure 132 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Le Gendre – Échelle 1/4000 ^e	174
Figure 133 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	175
Figure 134 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	176
Figure 135 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Sainte-Foy – Échelle 1/4000 ^e	177
Figure 136 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	178
Figure 137 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	179
Figure 138 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Pie-XII – Échelle 1/4000 ^e	180
Figure 139 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	181
Figure 140 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	182
Figure 141 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Roland-Beaudin – Échelle 1/4000 ^e	183
Figure 142 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Sainte-Foy Ouest – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	184
Figure 143 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Sainte-Foy Ouest – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	185
Figure 144 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Sainte-Foy Ouest – Échelle 1/4000 ^e	186
Figure 145 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Université Laval – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	187
Figure 146 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Université Laval – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	188
Figure 147 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Université Laval – Échelle 1/4000 ^e	189

Figure 148 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Desjardins – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	190
Figure 149 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Desjardins – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	191
Figure 150 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Desjardins – Échelle 1/4000 ^e	192
Figure 151 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Holland – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	193
Figure 152 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Holland – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	194
Figure 153 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Holland – Échelle 1/4000 ^e	195
Figure 154 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Belvédère – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	196
Figure 155 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Belvédère – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	197
Figure 156 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Belvédère – Échelle 1/4000 ^e	198
Figure 157 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Brown – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	199
Figure 158 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Brown – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	200
Figure 159 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Brown – Échelle 1/4000 ^e	201
Figure 160 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	202
Figure 161 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	203
Figure 162 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Centre-des-congrès – Échelle 1/4000 ^e	204
Figure 163 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	205
Figure 164 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	206
Figure 165 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Saint-Roch – Échelle 1/4000 ^e	207
Figure 166 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Hôpital St Fr. d'Assise – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	208
Figure 167 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Hôpital St Fr. d'Assise – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	209
Figure 168 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Hôpital Saint François d'Assise – Échelle 1/4000 ^e	210
Figure 169 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	211
Figure 170 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	212
Figure 171 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Patro Roc-Amadour – Échelle 1/4000 ^e	213

Figure 172 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 41 ^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	214
Figure 173 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 41 ^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	215
Figure 174 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur 41 ^e Rue – Échelle 1/4000 ^e	216
Figure 175 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 55 ^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	217
Figure 176 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 55 ^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	218
Figure 177 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur 55 ^e Rue – Échelle 1/4000 ^e	219
Figure 178 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 76 ^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	220
Figure 179 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 76 ^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	221
Figure 180 : Impact direct du projet avec mesures de réduction – Secteur 76 ^e Rue – Échelle 1/4000 ^e	222
Figure 181 : Repérage des CEE : Station Mendel et Station 41 ^e Rue	224
Figure 182 : Récepteurs proches du centre de remisage – station 41 ^e Rue	226
Figure 183 : Cartographie de l’ambiance sonore existante dans le secteur du second CEE – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	227
Figure 184 : Cartographie de l’ambiance sonore existante dans le secteur du second CEE – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000 ^e	227
Figure 185 : Méthodologie définie pour le calcul des niveaux sonores en environnement	231
Figure 186 : Exemple de profil de propagation du son en sortie d'une grille de ventilation - sol réfléchissant	232
Figure 187 : Synoptique du calcul ASHRAE	232
Figure 188 : Illustration d’un silencieux à baffles parallèles	233
Figure 189 : Illustration d’un silencieux cylindrique	234
Figure 190 : Illustration d’une grille acoustique en sortie de conduit aéraulique	235
Figure 191 : Illustration d’un traitement absorbant en gaine	236
Figure 192 : Comparaison des seuils du guide FTA et de la Politique sur le bruit routier du Québec	B-2
Figure 193 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Actuel, Zone Ouest	D-1
Figure 194 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Actuel, Zone Sud	D-2
Figure 195 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Actuel, Zone Est	D-3
Figure 196 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Actuel, Zone Nord	D-4
Figure 197 - Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Projeté 2026, Zone Ouest	D-5
Figure 198 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Projeté 2026, Zone Sud	D-6
Figure 199 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Projeté 2026, Zone Est	D-7
Figure 200 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Projeté 2026, Zone Nord	D-8



LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A	Critères détaillés d'impact sonore selon le guide FTA
ANNEXE B	Comparaison des seuils d'émergence maximale admissible selon le guide FTA et la Politique sur le Bruit routier
ANNEXE C	Définition des termes correctifs K_i , K_T et K_s utilisés dans le règlement LRQ
ANNEXE D	Détails des Débits Moyens Journaliers Annuels actuels et projetés en 2026 des voiries les plus importantes (fournis par la Ville de Québec)

1. SOMMAIRE EXÉCUTIF

Une étude acoustique visant à analyser l'impact sonore du projet de la future ligne de tramway urbain de la Ville de Québec, en phase d'exploitation, a été réalisée par la société SYSTRA.

Ce rapport présente les résultats obtenus à ce jour de l'évaluation de l'impact sonore du tramway.

1.1 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

L'étude se décompose en six étapes successives :

○ **Étape 1 : Définition des objectifs selon la réglementation acoustique applicable au Québec et au Canada et les guides de référence ;**

Ces objectifs s'intéressent à l'évaluation et la limitation de l'exposition à toutes les sources sonores inhérentes au projet : le bruit émis par la circulation des rames de tramway en surface (constituant la composante sonore principale), le bruit généré au niveau du centre d'entretien et d'exploitation (CEE sur la 41^e Rue), mais aussi les bruits émis par les équipements électromécaniques et par les arrivées/départs des véhicules dans les stations souterraines, ces bruits remontant à la surface par les conduits et les grilles de circulation d'air.

○ **Étape 2 : Identification des sites sensibles et des récepteurs représentatifs;**

○ **Étape 3 : Caractérisation de l'état sonore existant**, en s'appuyant sur une campagne de mesures acoustiques et la mise en œuvre d'un modèle acoustique simulant l'ambiance sonore actuelle;

○ **Étape 4 : Caractérisation de l'état sonore en exploitation** (simulation);

○ **Étape 5 : Analyse des risques d'impact occasionné par l'exploitation du tramway** (par comparaison des niveaux de bruit calculés aux valeurs cibles à ne pas dépasser);

○ **Étape 6 : Définition de solutions de réduction de bruit**, dans les secteurs où les niveaux de bruit calculés sont en excès des valeurs cibles;

○ **Étape 7 : Caractérisation de l'état sonore en exploitation avec prise en compte de mesures de réduction de bruit**, afin d'analyser les impacts sonores résiduels après traitement et définir des actions supplémentaires si nécessaire.

Il est important de noter qu'outre l'analyse des risques d'impact sonore lié à l'exploitation de la future ligne de tramway comme attendu par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), cette étude permettra de définir le jeu d'exigences acoustiques à respecter par le futur Consortium chargé des études détaillées et de la construction (CCFE).

1.2 DÉFINITION DES CRITÈRES ACOUSTIQUES (ÉTAPE 1)

Une phase préliminaire de l'étude a consisté à étudier l'applicabilité des textes réglementaires du Québec et du Canada pour fixer des objectifs en termes de niveaux de bruit à ne pas dépasser. Une revue complète de ces textes a été réalisée en ce sens. Il en résulte qu'il n'existe pas de texte réglementaire applicable permettant l'évaluation et la limitation de l'exposition au bruit émis par l'exploitation d'une nouvelle infrastructure de transport ferroviaire. Les indicateurs utilisés et les valeurs limites de ces textes ne sont pas appropriés pour ce type de source sonore. Il a donc été convenu que les objectifs sonores et la

méthodologie employée pour analyser les risques d'impact s'appuieraient sur les recommandations du guide de référence « FTA » publié par *Federal Transit Administration* aux États-Unis d'Amérique (Réf. : *Transit Noise and Vibration Impact Assessment*, 2018). Les objectifs définis dans le guide « FTA » fréquemment utilisé (au-delà des frontières des États-Unis) sont parfaitement adaptés à une infrastructure nouvelle telle que la future ligne de tramway de Québec; les valeurs cibles tiennent compte de la sensibilité des activités dans les bâtiments exposés et du niveau de bruit préexistant. Ces valeurs cibles sont également appliquées pour l'analyse de l'impact de la circulation des rames de tramway au niveau des centres d'entretien et d'exploitation.

Concernant le bruit généré en surface à proximité des grilles de circulation d'air au voisinage des stations souterraines, il a été convenu d'appliquer le règlement municipal sur le bruit R.V.Q.978 du 1er mai 2019 et la note d'instructions du MELCC LRQ (c. Q-2, articles 20 et 22, Juin 2006) relative au « Traitement des plaintes sur le bruit et les exigences aux entreprises qui le génèrent ».

1.3 MESURE ET MODÉLISATION DE L'AMBIANCE SONORE EXISTANTE (ÉTAPES 2 ET 3)

Une campagne de mesures a été réalisée en juin 2019 (avant la période de vacances scolaires) puis en septembre 2019 dans le but de déterminer l'ambiance sonore actuelle dans le secteur d'aménagement de la future ligne de tramway.

Les niveaux sonores ont été relevés sur une période d'au moins 24 h pour la majorité des points. Certains points de mesure ont fait l'objet d'un prélèvement de plus courte durée (environ 1 h). Au total, l'ambiance sonore a été caractérisée en 41 emplacements distincts. En parallèle, un relevé du trafic routier a également été réalisé en 9 points.

Afin de caractériser le climat sonore en façade de l'ensemble des bâtiments exposés aux émissions sonores du tramway, un modèle acoustique en 3D simulant les niveaux de bruit préexistant le long du tracé est mis en œuvre en prenant en compte les paramètres suivants : la topographie du terrain, la géométrie des bâtiments et de tout objet pouvant avoir une influence sur la propagation du bruit et le trafic routier, le bruit émis par les véhicules routiers constituant la source sonore dominante. Le modèle acoustique est tout d'abord recalé et validé, en se basant sur les niveaux de bruit qui ont été mesurés. La connaissance des niveaux de bruit préexistant au niveau de chaque bâtiment exposé permet de déduire les valeurs cibles de bruit dû au projet du tramway, à ne pas dépasser.

Le rapport présente le climat sonore actuel sous la forme de cartes de bruit à l'échelle 1/4000^e. Au total dix-sept cartes de bruit sont présentées pour l'ensemble de la ligne. Lors du recalage du modèle de simulations sur les données mesurées, il a été démontré que le climat sonore actuel était dominé par le bruit routier, également dans les secteurs près des lignes ferroviaires existantes. Le bruit d'origine industriel est insignifiant.

Cette source de bruit comprend deux catégories de véhicule : les véhicules légers (automobiles, motocycles) et les véhicules lourds (autobus, camions légers et camions lourds).

Les niveaux d'enjeu acoustique ont été définis par secteur, en considérant deux paramètres : l'ambiance sonore actuelle (calme, modérée ou non modérée sur la période diurne et nocturne) et la sensibilité des activités dans les logements, les établissements de santé, les établissements d'enseignement, etc. Les

niveaux d'enjeu, définis comme faible, modéré ou fort, permettent d'identifier les zones qui requièrent une vigilance particulière, et a contrario les zones sans véritable enjeu acoustique. Une synthèse de cette classification, avant simulations, est proposée dans le tableau suivant :

Enjeu fort	• Les abords du corridor de transport d'énergie entre le boulevard Versant-Nord et le Chemin des Quatre-Bourgeois • Le chemin des Quatre-Bourgeois entre l'avenue Pie-XII et l'avenue Bégon • L'avenue Roland-Beaudin • La 1^{re} Avenue entre la 7^e Rue et 18^e Rue
Enjeu modéré	• L'Avenue de la médecine et la rue de l'Université • Le Boulevard René-Lévesque O entre l'avenue Holland et l'avenue Cartier • La Rue de la Couronne entre le Boulevard Charest E et la rue de la Croix-Rouge • La 1^{re} Avenue, entre la 18^e Rue et la rue des Lilas O et entre la 50^e Rue O et la 76^e Rue E
Enjeu faible	• L'avenue Blaise-Pascal • Le boulevard Laurier entre l'avenue Lavigerie et l'autoroute Robert-Bourassa • Le boulevard René-Lévesque E • La Côte d'Abraham

1.4 MODÉLISATION DU BRUIT OCCASIONNÉ PAR L'OPÉRATION DU TRAMWAY (ÉTAPE 4)

Le modèle acoustique sous CadnaA est modifié de sorte à calculer les niveaux de bruit ambiants occasionnés par le projet. Les niveaux de bruit sont calculés pour la période diurne (7 h – 22 h) et la période nocturne (22 h – 7 h).

Le modèle est géré de sorte à pouvoir calculer d'une part l'ambiance sonore liée à l'exploitation du tramway considéré seul, et d'autre part les effets sur l'ambiance sonore des changements de trafic routier.

Les caractéristiques acoustiques précises du matériel roulant ne sont pas fixées à ce stade. Une hypothèse d'émission sonore du matériel roulant a donc été proposée à partir d'une étude bibliographique et des données d'émission sonore de tramways récents contenues dans la base de données de SYSTRA. Les hypothèses considérées sont modérément conservatrices : elles correspondent à un niveau de bruit au passage à 7,5 m de 78 dB(A) à 40 km/h. Il s'agit d'une valeur typique pour un état de rugosité des rails « moyen ».

Le niveau d'émission sonore varie en fonction de la vitesse du tramway. Le profil de vitesse du tramway le long du tracé est pris en compte en segmentant la ligne en zones distinctes : zones à 70 km/h, zones à 50 km/h, zones en courbes de faible rayon à 30 km/h, zones à proximité des stations à 30 km/h, zones d'intersection à 40 km/h.

Une augmentation du niveau des émissions sonores de +8 dB est considérée dans les courbes de faible rayon pour simuler le bruit de crissement, conformément aux directives de la méthode de calcul européenne, CNOSSOS-EU.

Les données de trafic routier considérées sont les Débits Moyens Journaliers Annuels (DMJA) estimés à l'horizon 2026, qui viennent remplacer dans le modèle les données de trafic routier actuel. Les données DMJA ne distinguant pas les catégories de véhicules (voitures, motocycles, autobus, etc.), les prévisions du trafic des autobus en 2026, dans les voiries empruntées par le tramway, fournies par le RTC, sont prises

en compte en complément. Dans la grande majorité des cas, le trafic de bus est considéré comme nul dans les voiries où s'insèrera le tramway.

Les données DMJA indiquent une augmentation globale du trafic routier en 2026. Cette augmentation se traduit par une augmentation du bruit routier en général inférieur à 1 dB, si l'on ne distingue pas le pourcentage de contribution de chaque type de véhicule. Le trafic de bus étant nul sur les axes routiers où s'insère le tramway, l'effet global du changement du trafic routier à l'horizon 2026 est une diminution du bruit routier entre 1 dB et 4 dB, selon le secteur considéré.

Dans la rue de la Couronne, le bruit routier augmente d'environ +1 dB en raison d'une augmentation du trafic routier de +65 %, et ce, malgré la suppression du trafic d'autobus. Dans cette rue, la contribution sonore du tramway est du même ordre que le bruit routier.

Les sources sonores fixes situées principalement au voisinage des sections de ligne souterraine, ne sont pas prises en compte dans cette étude, car le risque d'impact associé est considéré secondaire au regard de celui associé aux bruits émis par la circulation du tramway sur les sections de la ligne en surface.

1.5 ÉVALUATION DES IMPACTS DU BRUIT DU PROJET SANS MESURES D'ATTÉNUATION (ÉTAPE 5)

Les résultats de simulation des niveaux sonores dus au projet du tramway de Québec ont été comparés aux valeurs cibles, qui pour rappel, ont été définies en fonction de la sensibilité des bâtiments et du niveau sonore ambiant actuel, selon les recommandations du guide « FTA ».

L'analyse des résultats montre que l'impact sonore dû à l'exploitation du projet, sans mesures d'atténuation, est généralement faible (dépassement inférieur à +2 dB) ou modéré (dépassement entre +2 dB et +5 dB).

Il y a absence d'impact sur environ 26 % de la ligne (longueur totale de 6,1 km), dans les secteurs suivants :

- Entre la station Le Gendre et le boulevard Versant-Nord (sur une distance de 1,7 km);
- Chemin des Quatre-Bourgeois, entre la station Bégon et la station Roland-Beaudin (sur une distance de 1,7 km);
- Le long de l'avenue Laurier, entre la station de l'Église et la station Place Sainte-Foy (sur une distance de 1,4 km);
- Boulevard René-Levesque O, entre la station Myrand et la station Maguire (sur une distance de 500 m);
- La 1^{re} avenue, entre la station des Peupliers et la station 47^e Rue (sur une distance de 800 m).

Les résultats indiquent également que les zones où l'impact sonore est faible sont étendues (longueur totale de 4,6 km).

Enfin, il existe des secteurs où l'étude montre une diminution à terme des niveaux de bruit par rapport à la situation actuelle. Ce résultat est la conséquence de la suppression de lignes de bus. En effet, le bruit généré au passage de rames de tramway est globalement plus faible que celui émis par le passage de bus thermiques. Ces secteurs sont les suivants :

- Chemin des Quatre-Bourgeois, entre la station Bégon et la station Roland-Beaudin (sur une distance de 1,5 km);

- Le long de l'avenue Laurier, entre la station de l'Église et la station Place Sainte-Foy (sur une distance de 1,4 km);
- La 1^{re} Avenue, entre la rue des Lilas O et la 47^e Rue O (sur une distance de 700 m).

Cela représente au total un linéaire de 3,6 km où les niveaux sonores ambiants en 2026 auront diminué.

Les simulations, considérant une augmentation des niveaux d'émission sonore de +8 dB(A) dans les courbes de faible rayon pour prendre en compte l'effet du crissement, permettent de constater un dépassement des valeurs cibles dans beaucoup de secteurs près des courbes. Ce résultat montre la nécessité de prévoir la mise en place de mesures anti-crissement.

Il existe au total deux secteurs où l'impact sonore du projet est fort, c'est-à-dire où les valeurs cibles sont dépassées de plus de 5 dB(A) :

- Entre le boulevard du Versant-Nord et la station Pie-XII : l'ambiance sonore actuelle à l'arrière des logements situés le long de l'avenue Pie-XII et le chemin des Quatre-Bourgeois étant calme, des dépassements jusqu'à +12 dB(A) sont constatés. Ces forts niveaux de dépassement sont également liés à une vitesse du tramway relativement élevée (70 km/h);
- Dans la rue de la Couronne, le trafic routier augmentant de +65 % globalement, la contribution du bruit routier augmente d'environ 1 dB malgré la suppression du trafic d'autobus sur cette portion. L'augmentation du bruit total (tramway + routier) est entre 3 et 4 dB(A) selon le point considéré.

1.6 DÉFINITION DE MESURES DE MITIGATION DU BRUIT (ÉTAPE 6)

Dans les secteurs où le niveau sonore projeté dépasse les critères acoustiques, des mesures de réduction du bruit ont été définies. Les différentes solutions appropriées pour réduire le bruit sont composées de mesures de réduction du bruit « à la source », et dans les secteurs où ces mesures ne suffisent pas, de mesures de protection phonique (barrières antibruit) et/ou de mesures de renforcement de l'isolation acoustique des façades des bâtiments.

Les exemples de mesures de réduction du bruit « à la source » envisagées à ce stade du projet sont les suivantes :

1) Dispositif contre le crissement en courbe :

Le passage du tramway dans des courbes serrées peut s'accompagner d'un phénomène de crissement qui se produit au contact entre rail et roue, entraînant l'apparition d'une composante sonore à tonalité marquée, et que l'on appelle bruit de crissement. Il existe des solutions permettant de minimiser le risque d'apparition du crissement consistant à modifier le coefficient de frottement au point de contact. Il s'agira d'un système de lubrification de la roue (installé sur un essieu du véhicule), ou de la tête des rails (installé sur la voie à l'entrée des courbes). Un autre dispositif peut s'avérer suffisamment efficace dans la grande majorité des courbes : il s'agit d'un système d'amortissement équipant les roues. On parle alors de roues amorties. La suppression du bruit de crissement en courbes revient à réduire le niveau d'émission sonore dans ces secteurs de plus de 10 dB(A). Cette mesure n'aura un effet que dans les secteurs comportant des courbes de faible rayon.

2) Programme d'entretien « acoustique » de la voie :

Afin de limiter les bruits et vibrations, mais également les risques d'endommagement par fatigue du système lui-même, il est recommandé de surveiller les états de surface des rails et des roues. Les roues des tramways seront régulièrement reprofilées; cette opération aura pour effet de maintenir une rugosité acceptable des roues et de limiter l'apparition de défauts de roue importants tels que les plats aux roues et les défauts d'ovalisation. Les conditions climatiques en période hivernale à Québec nécessiteront de prévoir un dispositif de déneigement susceptible de dégrader les surfaces de roulement des rails et donc de conduire à une augmentation sensible du bruit de roulement. Afin de maîtriser les risques d'augmentation du bruit de roulement, il est possible d'envisager la mise en place d'un dispositif de suivi de la rugosité de la voie (par des mesures embarquées sur véhicule) associé à un programme d'entretien régulier des rails grâce à des opérations de meulage « acoustique » des rails en cas de dépassement de seuil. Un gain acoustique de 2-3 dB (à définir en fonction des contraintes d'exploitation) semble raisonnablement atteignable.

3) Spécification acoustique du véhicule (sélection d'un véhicule silencieux) :

Les hypothèses d'émission sonore du tramway considérées pour les simulations étant modérément conservatrices, il semble raisonnable de spécifier des performances acoustiques du matériel roulant, conduisant à des niveaux d'émission sonore en conditions normales d'exploitation de 2 dB.

4) Mise en place de revêtements de plateformes absorbants :

Cette mesure consiste, dans les secteurs où les valeurs cibles de bruit sont dépassées d'au moins 3 dB, à remplacer la plateforme réfléchissante (béton, pavés, bitume) par une plateforme ayant des propriétés d'absorption acoustique. Il pourra s'agir de gazon ou d'un béton drainant/poreux. Le gain attendu avec une telle mesure est de l'ordre de 2 dB (au plus 3 dB).

Dans les zones où l'objectif de réduction de bruit est supérieur à 5 dB(A), il est nécessaire d'envisager la mise en place de protections phoniques (murs acoustiques, écrans végétalisés, merlons paysagers). L'atténuation acoustique dans les zones situées derrière l'écran est entre 10 et 12 dB(A).

Enfin dans certains cas, il peut s'avérer pertinent de prévoir un renforcement de l'isolation acoustique de la façade des bâtiments (en remplaçant par exemple les fenêtres et les portes).

Le choix d'une ou plusieurs des mesures exposées ci-dessus, dépend de l'objectif d'atténuation du bruit et de l'étendue des zones affectées :

- Dans les secteurs près de courbes de faible rayon, la mesure va consister à mettre en place un système anti-crissement;
- Dans les zones étendues où l'impact sonore est faible (où l'objectif est dépassé d'environ 2 dB seulement), il est pertinent de privilégier une ou plusieurs mesures de réduction du bruit à la source (sélection d'un véhicule « silencieux », entretien par meulage des rails), plutôt que la mise en place de protections phoniques (écrans). Une hypothèse de réduction de 2 dB des émissions sonores du tramway a été prise en compte, ce qui est tout à fait atteignable;
- Entre le boulevard du Versant-Nord et la station Pie-XII, il est nécessaire d'insérer un écran acoustique d'une hauteur d'environ 2,5 m des deux côtés de la ligne.

1.7 ÉVALUATION DES IMPACTS RESIDUELS APRES MISE EN PLACE DE CES MESURES (ETAPE 7)

Après prise en compte des mesures de mitigation, les simulations montrent que le projet n'a pas d'impact sonore selon les critères du guide « FTA » sur la majeure partie de la ligne (95 %). Il est à noter que le niveau de bruit ambiant (toutes sources de bruit prises en compte) diminue même assez sensiblement dans certains secteurs, représentant au total un linéaire de 4,8 km (soit 21 % de la longueur totale).

En marge de ces bons résultats, il reste cependant trois bâtiments et un secteur où l'ambiance sonore risque d'être augmentée sensiblement.

- Un bâtiment résidentiel situé à proximité d'une courbe prononcée à l'intersection du Chemin des Quatre-Bourgeois et de l'avenue Pie-XII, est modérément affecté (dépassement de +3 dB environ). Il est vraisemblable qu'un renforcement de l'isolation acoustique de la façade exposée soit nécessaire pour atteindre la valeur cible. Cet aspect sera étudié lors de la phase d'ingénierie de détails.
- Un bâtiment résidentiel situé à proximité d'une courbe prononcée à l'intersection du boulevard Henri-Bourassa et de la 76^e Rue E est faiblement affecté (dépassement inférieur à +2 dB). Un programme d'entretien régulier des rails grâce à des opérations de meulage « acoustique » des rails plus régulier dans le temps (dans ce secteur) devrait permettre de respecter l'objectif de seuil. Cet aspect sera étudié lors de la phase d'ingénierie de détails.
- Un bâtiment résidentiel situé dans l'avenue McCartney le long du corridor de transport d'énergie est légèrement affecté en raison de l'influence des sources en toiture. Ce résultat montre qu'il faudra être vigilant sur les niveaux de bruit émis par les équipements en toiture du tramway. Cet aspect fera l'objet de spécifications acoustiques.
- Une zone (rue de la Couronne) est affectée faiblement par le projet en raison, notamment d'une augmentation du trafic routier (+65 %) et ce malgré la suppression du trafic des autobus sur cette portion. L'augmentation du bruit routier est de +1 dB et le bruit ambiant total est quant à lui augmenté entre 1 et 2 dB.

1.8 BRUITS DANS LES SECTEURS AU VOISINAGE DES SECTIONS DE LIGNE SOUTERRAINES

Les sources sonores fixes situées principalement au voisinage des sections de ligne souterraines sont par ordre d'importance :

- 1) Les bruits des équipements de ventilation des stations et des tunnels en fonctionnement continu, qui transitent par les grilles situées généralement en voiries ou en toiture des bâtiments d'entrée des stations;
- 2) Les bruits liés au passage du tramway transitant par les grilles en sortie des gaines de décompression;
- 3) Les bruits des escaliers mécaniques débouchant en voirie.

L'influence de ces sources n'est pas prise en compte dans cette étude, car il serait nécessaire de connaître le choix des équipements, la conception des gaines de ventilation (depuis la station en profondeur jusqu'aux grilles de prise et de rejet d'air) et la localisation de ces grilles vis-à-vis des bâtiments sensibles. Or, ces paramètres seront fixés ultérieurement durant les études de conception.

Toutefois, le risque d'impact associé à ces sources est considéré comme faible au regard de celui associé aux bruits émis par la circulation du tramway sur les sections de la ligne en surface. En effet, les bonnes pratiques en termes de conception de stations souterraines prévoient l'intégration de silencieux dans les gaines de ventilation. Le risque d'impact devient faible dès lors que le Consortium responsable de la conception des locaux techniques et des équipements électromécaniques est conscient des enjeux acoustiques et prévoit les espaces nécessaires pour intégrer ces silencieux.

Chacune de ces sources fera l'objet de spécifications acoustiques permettant une absence ou un risque très faible de nuisances sonores à proximité des stations.

1.9 DISCUSSION DES RÉSULTATS

En conclusion, les risques d'impact sonore dû à l'opération de la ligne de tramway sont globalement faibles après mise en place des mesures de mitigation « à la source » suivantes : spécification acoustique rigoureuse et raisonnable du matériel roulant, mise en place de dispositifs anti-crissement en courbes, programme d'entretien des rails par meulage acoustique dans les secteurs les plus sensibles. L'impact reste toutefois important dans le corridor entre le boulevard Versant-Nord et le Chemin des Quatre-Bourgeois malgré ces mesures à la source. Dans ce secteur (uniquement), il est nécessaire de prévoir la mise en place de dispositifs de protection phonique (du type « écran acoustique » ou équivalent) de part et d'autre et à faible distance de la ligne.

Il est important de noter que :

- L'impact sonore est nul sur environ 26 % du tracé; le projet du tramway est même bénéfique (diminution du niveau de bruit ambiant global par rapport à la situation actuelle) sur environ 12 % du tracé;
- Une section importante du centre-ville est traversée en souterrain, ce qui de fait, limite fortement les zones d'exposition au bruit du projet.

Les simulations réalisées dans cette étude ont été effectuées sur la base des données d'entrées accessibles à ce jour. Les hypothèses sont détaillées dans le rapport. Le Consortium aura la charge de mettre à jour la modélisation acoustique à plusieurs stades de la phase de conception détaillée, de sorte à maîtriser les risques d'impact sonore jusqu'aux essais de réception, en intégrant les effets des changements notables des paramètres du projet tels que le tracé, la vitesse, le débit, les DMJA, les hypothèses d'émission sonore du matériel roulant, etc.

2. OBJET DE L'ÉTUDE

Cette étude d'impact acoustique concerne le projet de la future première ligne de tramway urbain de la Ville de Québec qui s'étend du quartier Le Gendre au Sud-Ouest de la ville, à la 76^e Rue au Nord-Est, et reliant le Pôle Sainte-Foy, l'Université Laval et le Pôle Saint-Roch.

Le tracé de la ligne de tramway est illustré sur la vue aérienne ci-dessous. La ligne, d'une longueur d'environ 23 km, s'insère dans un contexte urbain relativement dense, le plus souvent au milieu d'avenues assez larges bordées de bâtiments résidentiels. Il est important de noter que dans deux secteurs particulièrement denses, la ligne progresse en souterrain, limitant de fait l'exposition des riverains dans ces secteurs à un faible niveau de bruit.



Figure 1 : Vue générale du tracé de la ligne de tramway dans la ville de Québec

C'est dans ce contexte que la Ville de Québec a mandaté SYSTRA d'analyser et de limiter les risques d'impact acoustique lors de l'exploitation de la ligne de tramway.

Les résultats de cette étude sont présentés dans ce document :

- Dans un premier temps, les textes réglementaires et documents de référence sont présentés et analysés afin de retenir les critères acoustiques applicables au projet;
- Dans un second temps, une analyse de l'état sonore préexistant est réalisée;
- Dans un troisième temps, la caractérisation de l'état acoustique futur est présentée et les risques de dépassement des seuils fixés sont quantifiés;
- Enfin, des principes de solutions techniques sont présentés afin de maîtriser l'impact du projet.

3. NOTIONS D'ACOUSTIQUE

Le **son** est un phénomène acoustique produit par de faibles variations de la pression atmosphérique s'exerçant sur le tympan par rapport à la pression ambiante du lieu.

Le **bruit** est un son générant une sensation auditive jugée indésirable ou gênante. Il est considéré comme l'une des premières sources de nuisances générées par l'activité humaine.

Au-delà du caractère subjectif de la nuisance sonore (la perception du bruit variant d'un individu à l'autre), la notion de pollution sonore traduit le fait que ces nuisances peuvent affecter de manière nocive l'acuité auditive, la santé, la qualité de vie ou encore les écosystèmes.

En raison de ces effets, plusieurs documents de référence imposent des seuils limites d'exposition de la population et de l'environnement au bruit. Il est estimé qu'au-delà de ces seuils, la nuisance sonore est avérée ou présente un risque nocif pour la santé.

Pour une meilleure compréhension du document, quelques définitions élémentaires sont développées ci-après.

3.1 DÉFINITIONS ET GRANDEURS UTILES

3.1.1 Intensité, fréquence et durée

Un son est caractérisé par trois éléments :

- Son **niveau sonore** (ou **intensité**) : exprimé en décibels (dB ou dB(A)), indique si le son est fort, moyen ou faible;
- Sa **fréquence** : exprimée en Hertz (Hz), indique si le son est grave, médium ou aigu. L'oreille humaine perçoit les sons entre 20 Hz (grave) et 20 000 Hz (aigu);
- Sa **durée** : exprimée généralement en secondes (s), correspond au temps mis par le niveau sonore pour décroître en dessous d'un seuil perceptif.

3.1.2 L'échelle des décibels

L'échelle utilisée pour caractériser un son est le décibel, noté dB, et s'étend de 0 dB (seuil d'audibilité) à plus de 120 dB (seuil de la douleur). La plupart des sons de la vie courante sont compris entre 30 et 90 décibels.

À partir de 80 décibels, il y a un risque important de perte d'audition en cas d'exposition prolongée au bruit. Ces niveaux de bruit sont essentiellement rencontrés dans le cadre professionnel (industrie, armée, artisanat, etc.) et dans certaines activités de loisirs (chasse, musique, sports mécaniques, etc.).

Lorsque l'on dépasse un niveau sonore de 100 dB, le risque de perte auditive est élevé même pour une exposition de courte durée. Enfin, au-delà de 120 dB, la perte auditive est immédiate et irréversible.

Une hiérarchisation du niveau sonore généré par quelques éléments de la vie courante et de leurs impacts sur la santé auditive est présentée sur la **Figure 2** suivante. Il est important de préciser que ces seuils correspondent à des valeurs moyennes et que, naturellement, la valeur effective des seuils de risque, de

danger et de douleur dépend principalement du temps d'exposition au bruit et varie d'un individu à l'autre selon sa sensibilité ou sa physiologie.

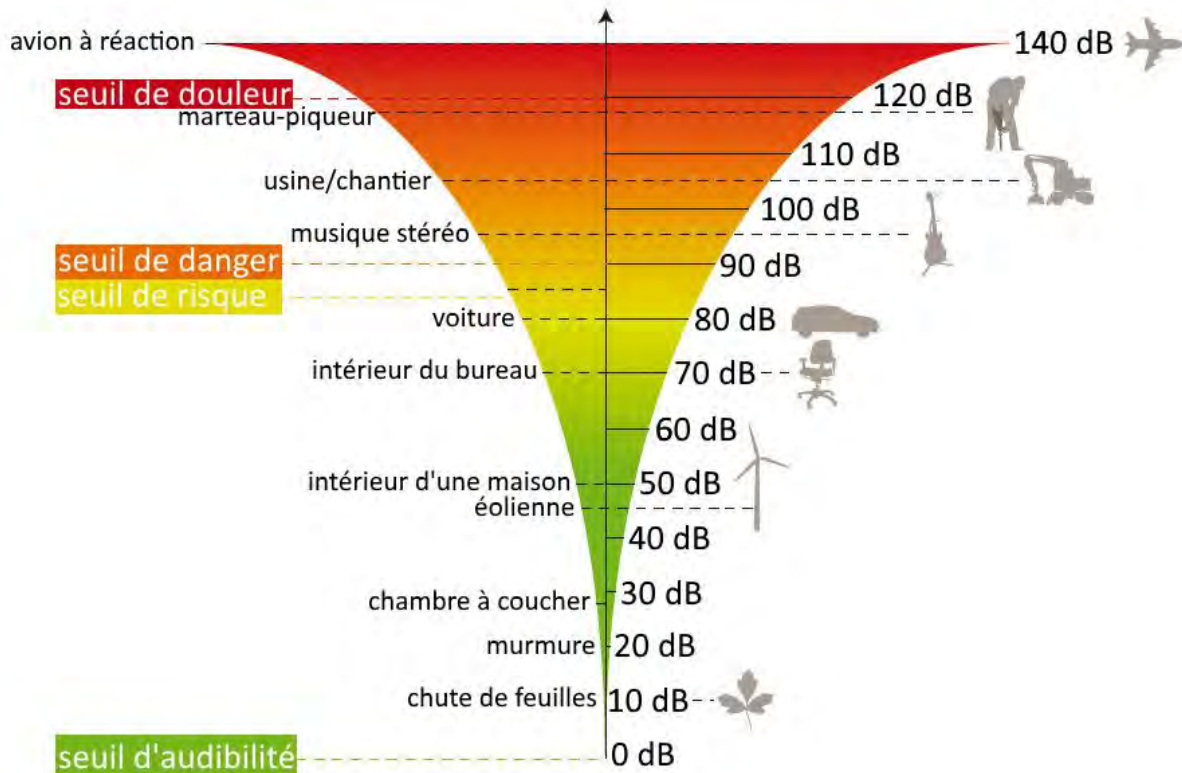


Figure 2 : Échelle du décibel (source : ADEME)

Un bruit est défini par son niveau sonore et par son spectre. Le spectre d'un bruit est le résultat de la contribution sonore de l'ensemble des fréquences constituant le bruit.

Afin de tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine, adaptée à la parole et moins sensible aux basses fréquences, l'échelle des décibels est pondérée par un filtre (représentée ci-dessous dans la **Figure 3**); l'échelle utilisée est appelée décibel A (dB(A)).

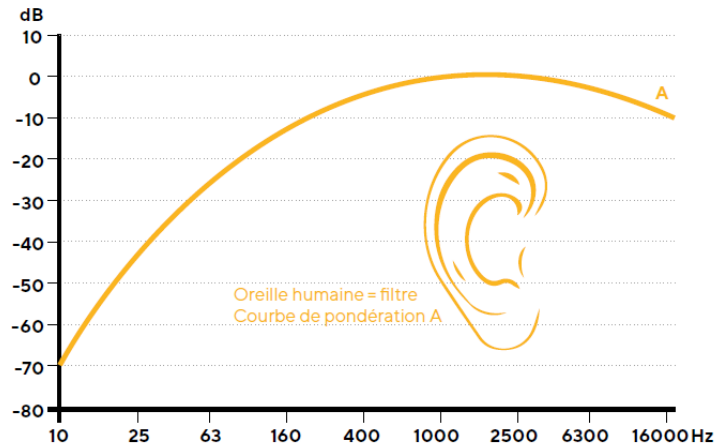


Figure 3 : Perception du son en fonction de la fréquence, Filtre de pondération A (source : [13])

Calcul des niveaux sonores :

Le niveau d'intensité sonore suit une échelle logarithmique : quand deux sources émettent un même niveau sonore, le niveau sonore total est égal à celui d'une seule source augmentée de 3 dB(A). Par exemple, le doublement du trafic routier correspond à une augmentation du niveau sonore de 3 dB(A) (avec % poids lourds, vitesses et fluidité identiques).

Aussi, si une source X émet un niveau sonore de 10 dB(A) supérieur à celui d'une source sonore Y, seule la source X sera entendue.

3.2 LES INDICATEURS UTILISÉS

Les indicateurs utilisés pour caractériser l'impact acoustique d'une source de bruit sont les suivants.

- **Le niveau $L_{Aeq,24\text{ hr}}$** : c'est le niveau sonore équivalent sur une journée. Il mesure la moyenne énergétique du niveau de pression acoustique d'un bruit pendant 24 heures. Cet indicateur traduit la dose de bruit cumulée perçue pendant cette période d'observation. Il est renseigné en dB(A) pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine et ainsi expliciter le niveau effectivement perçu par l'être humain.

Cet indice est très régulièrement utilisé pour évaluer la gêne, car dans la pratique, une bonne corrélation existe entre la valeur du L_{Aeq} et le niveau de gêne auditive ressentie par un individu exposé au bruit.

- **Le niveau $L_{Aeq,7\text{ h-22 h}}$ (ou L_{Day} ou L_D)** : c'est le niveau sonore équivalent sur la période diurne (7 h – 22 h).
- **Le niveau $L_{Aeq,22\text{ h-7 h}}$ (ou L_{Night} ou L_N)** : c'est le niveau sonore équivalent sur la période nocturne (22 h – 7 h).
- **Le niveau L_{DN}** : c'est le niveau sonore équivalent jour-nuit (*day-night*). Il correspond à une moyenne des niveaux sonores sur une journée complète, en pondérant à +10 dB les niveaux sonores nocturnes pour tenir compte de la sensibilité aux bruits accrue durant la nuit.

Il est défini par la formule suivante :

$$L_{DN} = 10 \log_{10} \left(\frac{15 * 10^{\frac{L_D}{10}} + 9 * 10^{\frac{L_N+10}{10}}}{24} \right)$$

- **Le niveau de puissance acoustique L_w** : Cette grandeur caractérise la capacité d'émission sonore intrinsèque de la source, indépendamment de son environnement.
- **Le niveau L_{max}** : c'est la valeur maximale du niveau sonore relevé pendant un évènement sonore.
- **Le niveau $L_{A,95}$ %** : L'indice fractile $L_{A,95}$ % correspond au niveau $L_{A,eq}$ dépassé pendant 95 % du temps d'une mesure de niveau sonore. Il permet de s'affranchir des évènements particuliers pouvant perturber ponctuellement la mesure (klaxons, claquements de portes, conversations entre individus, etc.).
- **L'indice OITC (Outdoor-Indoor Transmission Class)** : C'est l'isolement acoustique standardisé pour un bruit de trafic, défini selon la norme américaine ASTM E1332-16. Il correspond à l'isolement de la façade mesuré sur le site. Il se mesure en dB.

3.2.1 Niveau de bruit résiduel, ambiant, particulier et émergence

Les indicateurs décrits ci-dessous serviront par la suite à la caractérisation de la variation d'ambiance sonore liée au projet de tramway. Nous définissons donc :

- **Le niveau de bruit préexistant** (ou résiduel) est le niveau sonore à l'état initial, c'est-à-dire en l'absence du bruit généré par le projet. Il est induit par l'ensemble des sources sonores dans l'environnement et indépendantes du projet : trafic routier, trafic aérien, trafic ferroviaire autre que le projet, industries, etc.
- **Le niveau de bruit particulier** du projet est le niveau sonore généré par le projet seul, à une distance donnée.
- **Le niveau de bruit ambiant** est le niveau sonore à l'état final, c'est-à-dire en présence du bruit généré par le projet. Il est le résultat de la somme logarithmique entre le niveau de bruit résiduel et le niveau d'impact du projet.
- **L'émergence** est la différence arithmétique entre le niveau de bruit ambiant et le niveau de bruit résiduel.

$$E = L_{ambiant} - L_{préexistant} = L_{bruit\ total\ avec\ tramway} - L_{bruit\ total\ sans\ tramway}$$

où « L » représente le niveau sonore.

L'émergence caractérise la variation de niveau sonore dans l'environnement induite par le projet.

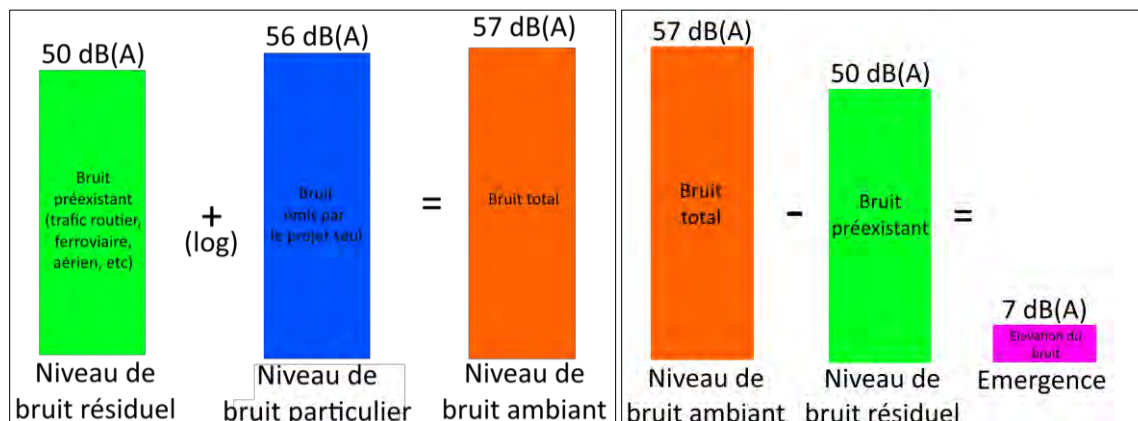


Figure 4 : Exemple d'application de la méthode de calcul des niveaux de bruit ambiant et de l'émergence

3.2.2 Les sources de bruit

Le bruit ferroviaire se distingue principalement du bruit routier par sa nature intermittente (« silence ferroviaire » entre 2 passages de matériel roulant) et son trafic beaucoup plus faible.

Le bruit ferroviaire est généralement composé :

- **Du bruit de traction**, bruit provenant des moteurs et des ventilateurs, il est prépondérant pour les vitesses inférieures à 30 km/h.
- **Du bruit de roulement**, lié aux défauts de surface du rail et/ou de la roue, il est généré par les vibrations des traverses et peut se cumuler ponctuellement au bruit de crissement dans les courbes ou au freinage. Il est prépondérant pour des vitesses supérieures à 30 km/h. Cette source est généralement la source de bruit principale dans le cadre d'un projet de création de ligne de tramway.
- **Du bruit des équipements**, généré par les équipements de climatisation/chauffage et compresseurs. Ce bruit est la source principale lorsque le train est à l'arrêt, il est également non négligeable pour des vitesses inférieures à 30 km/h.
- **Du bruit aérodynamique**, lié à la pénétration et aux frottements dans l'air. Il est perçu aux hautes vitesses et prépondérant au-delà de 320 km/h. Il ne sera donc pas considéré dans cette étude.

À cette liste de bruits ferroviaires s'ajoutent des bruits spécifiques liés à des situations particulières de la voie et/ou du matériel roulant:

- **Le bruit d'impact**, lié à la présence de singularités sur la voie ferrée, telles que les appareils de voie, les joints de rails et les passages à niveau. Ce bruit est généré par le passage d'un essieu sur une discontinuité de la voie ferrée.
- **Le bruit de crissement**, bruit le plus souvent généré par un phénomène d'adhérence/glisement latéral de la roue sur le rail qui se manifeste généralement dans les virages à faible rayon de courbure (< 300 m). Il convient de préciser que le phénomène de bruit de crissement peut également apparaître lors de phases de freinage mécanique du matériel roulant.

3.2.3 De la source au récepteur

Le niveau sonore perçu par les riverains varie selon le niveau de bruit à la source et les conditions de propagation du son dans l'environnement. Le bruit s'atténue en fonction de la distance à la voie et de la présence d'obstacles naturels ou artificiels entre la voie et les bâtiments. Sa propagation dépend des conditions météorologiques (vent, turbulences, étagement de températures) et du type de sol qui peut être réfléchissant (béton, asphalte, etc.) ou absorbant (zone herbée, sol couvert de neige, etc.).

3.2.4 Les avantages acoustiques du mode ferroviaire

Des études au niveau européen [23] ont mis en évidence que la gêne provoquée par le bruit ferroviaire est moindre que celles causées par l'aérien ou la route à niveau d'exposition égal (voir **Figure 5**). Ces différences entre modes s'expliquent par des facteurs acoustiques, mais aussi par des facteurs non acoustiques : facteurs de situation (bruit de fond, niveau d'isolation), facteurs personnels (âge, usage du mode de transport concerné, etc.) et les facteurs sociaux (mode de vie, image du mode de transport, confiance ou méfiance des individus par rapport aux pouvoirs publics, etc.).

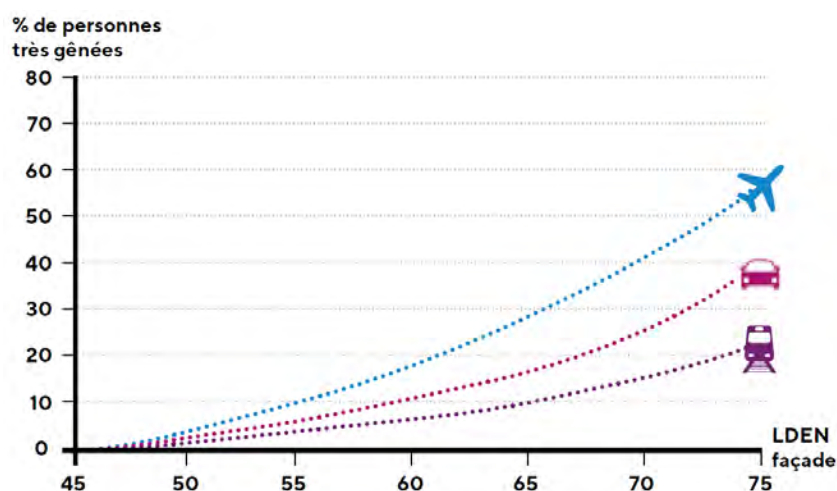


Figure 5 : Gêne provoquée par le bruit des transports en Europe
(source : [13]) (Le LDEN est similaire au LDN, en distinguant un intervalle « evening » où la pondération est de +5 dB)

4. RÉGLEMENTATION, TEXTES DE RÉFÉRENCE ET PROPOSITION DE CRITÈRES

Cette section présente les documents de référence utilisés pour définir les indicateurs et critères acoustiques pertinents pour le projet.

Les textes relatifs à l'impact acoustique de transports en mouvement, applicables au projet de tramway lorsque le tronçon est en surface, sont présentés dans un premier temps.

Dans un second temps, les textes applicables aux sources fixes et sources liées à l'infrastructure de transport sont présentés.

4.1 REVUE DES TEXTES DE RÉFÉRENCE RELATIFS AUX SOURCES MOBILES

4.1.1 Lignes directrices concernant l'effet du bruit routier et ferroviaire sur les habitations

Dans l'ouvrage *Le bruit du trafic routier et ferroviaire: ses effets sur l'habitation* [1] paru en 1981, il est mentionné qu'un niveau de bruit extérieur inférieur à 55 dB(A) est acceptable dans le cadre de la construction d'immeubles résidentiels. Entre 55 dB(A) et 75 dB(A), un isolement acoustique de façade adéquat doit être proposé aux logements. Au-dessus de 75 dB(A), l'aménagement ne devrait pas être envisagé. Ces valeurs sont résumées en figure suivante.

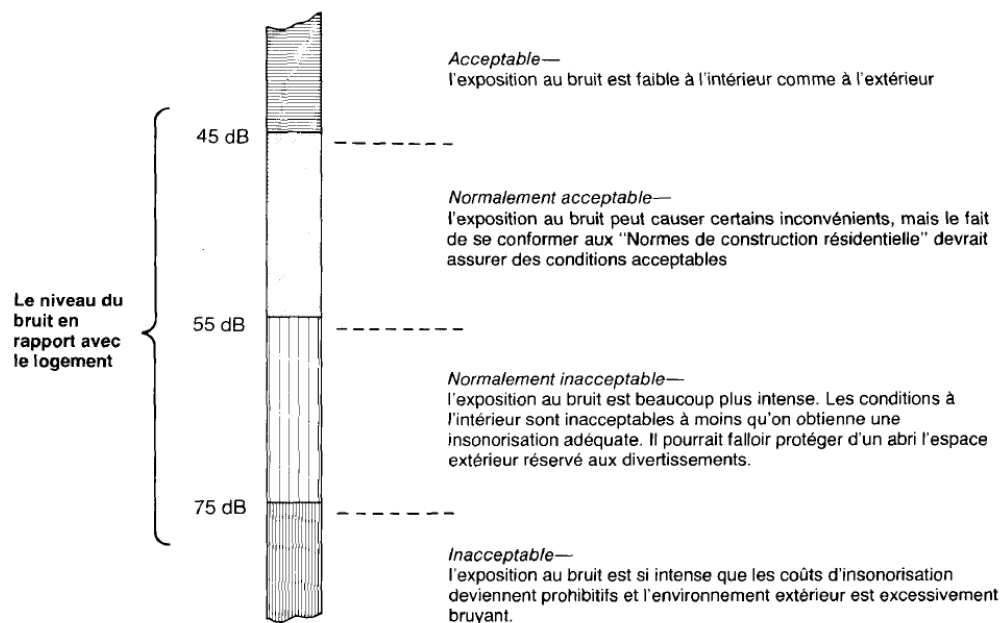


Figure 6 : Effets du bruit routier ou ferroviaire sur les logements (source : [1])

Remarques :

L'analyse de ce document de référence dans le cadre du projet de tramway met en évidence, la nécessité de :

- Ne pas dépasser un niveau de bruit ambiant de 75 dB(A) en façade des logements;

- De ne pas augmenter considérablement le bruit ambiant en façade des logements où le bruit préexistant est compris entre 55 dB(A) et 75 dB(A);
- De ne pas dépasser un bruit ambiant de 55 dB(A) en façade de logement où le bruit préexistant est inférieur à 55 dB(A).

Toutefois :

- Les niveaux de bruit émis en façade des bâtiments les plus exposés par des systèmes de type tramway sont dans un cas courant supérieurs à 55 dB(A) en période diurne, sans que cela constitue véritablement une nuisance. Ceci est souvent le cas dans les rues et avenues présentant un trafic routier élevé dans lesquelles les niveaux de bruit préexistants sont du même ordre ou supérieurs.
- L'échelle d'appréciation des effets du bruit routier et ferroviaire est insuffisante pour définir des critères acoustiques adaptés au projet du tramway de Québec. En effet, des niveaux de bruit dépassant 65 dB sont dans beaucoup de cas inacceptables. En revanche, une exposition à des niveaux de bruit entre 55 dB(A) et 60 dB(A), est souvent jugée acceptable en contexte urbain. Dans le cas de climat sonore préexistant élevé (entre 60(A) et 65 dB(A)), des niveaux sonores émis par le projet du même ordre n'occasionneront pas nécessairement une gêne des riverains.

Il convient donc d'affiner les critères choisis et de définir des objectifs différents selon les zones et les ambiances sonores préexistantes.

4.1.2 Méthodologie d'étude du bruit des infrastructures routières existantes

La méthodologie élaborée par le Service de l'environnement du Ministère des Transports du Québec en 1989 et intitulée « Étude de pollution sonore pour des infrastructures routières existantes – Méthodologie » [2] fournit des lignes directrices notamment au niveau de l'évaluation du niveau de gêne sonore, de la localisation des points de mesure et du choix des instruments de mesure employés.

Ce texte présente une grille d'évaluation de la qualité de l'environnement sonore, basée sur la mesure du niveau de bruit continu équivalent sur une période de 24 heures ($L_{Aeq,24\text{ hr}}$). Cette grille présentée dans le tableau ci-dessous évalue un niveau de gêne en fonction du niveau $L_{Aeq,24\text{ hr}}$.

Tableau 1 : Grille d'évaluation de la qualité de l'environnement sonore (source : [2])

Zone de climat sonore	Niveau de gêne sonore
$65\text{ dB(A)} \leq L_{Aeq,24\text{ hr}}$	Fort
$60\text{ dB(A)} < L_{Aeq,24\text{ hr}} < 65\text{ dB(A)}$	Moyen
$55\text{ dB(A)} < L_{Aeq,24\text{ hr}} \leq 60\text{ dB(A)}$	Faible
$L_{Aeq,24\text{ hr}} \leq 55\text{ dB(A)}$	Acceptable

La valeur de 55 dB(A) apparaît comme la valeur seuil en dessous de laquelle le niveau de gêne sonore est dit acceptable. Le niveau de gêne est considéré comme moyen (ou modéré) dès qu'il dépasse 60 dB(A).

Ces valeurs ne sont pas applicables au cas de créations d'infrastructures ferroviaires. L'application de valeurs seuils sans tenir compte des niveaux sonores préexistants pourrait conduire à des contraintes fortes, voire déraisonnables, en termes de dispositif de protection phonique.

4.1.3 Lignes directrices du guide FTA (USA)

Pour information et comparaison, ce paragraphe présente les critères d'évaluation de l'impact sonore d'un nouveau système de transport urbain, selon les lignes directrices du guide FTA (*Federal Transit Administration*) [6].

Le développement de ces critères est basé sur la relation entre le pourcentage d'individus fortement gênés et les niveaux de bruit dans leur lieu de résidence. Par conséquent, les critères sont différenciés selon l'usage du site (logement, bureaux, école, etc.) :

- L'indice L_{DN} est utilisé pour les logements et l'ensemble des bâtiments où des personnes séjournent et dorment couramment la nuit (hôtels par exemple);
- L'indice L_{eq} (1 h) est appliqué aux sites et bâtiments présentant une sensibilité aux bruits durant la journée. Cet indice est défini comme le niveau L_{eq} pour la tranche d'une heure durant laquelle l'exposition au bruit lié au système de transport est la plus élevée (dans la limite des horaires d'activité du lieu).

Les catégories d'usage des sites sensibles au bruit et les indicateurs associés sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Catégorie d'usage des sites/bâtiments sensibles au bruit et indicateurs (source: [6])

Catégorie	Indicateur de niveau sonore (dB(A))	Description de l'usage du terrain
1	$L_{eq}(h)$ extérieur ⁽¹⁾	Terrain où le calme est un élément essentiel de l'usage auquel il est destiné. Parmi les exemples d'utilisation des terrains concernés : les terres préservées pour la sérénité et le calme, les amphithéâtres et les espaces de concerts en plein air, ainsi que les lieux historiques nationaux dont l'utilisation extérieure est considérable. Les studios d'enregistrement et les salles de concert sont également inclus dans cette catégorie.
2	L_{DN} extérieur	Cette catégorie s'applique à tous les bâtiments résidentiels ainsi qu'aux bâtiments où les individus dorment usuellement, comme les hôpitaux et les hôtels.
3	$L_{eq}(h)$ extérieur ⁽¹⁾	Cette catégorie s'applique aux terrains utilisés par des institutions, dont l'utilisation se fait principalement en journée et en soirée. Les écoles, les bibliothèques, les théâtres et les églises sont des exemples de bâtiments où il est important d'éviter toute interférence avec des activités telles que la parole, la méditation et la concentration sur la lecture. Les lieux de méditation ou d'étude associés aux cimetières, aux monuments, aux musées, aux terrains de camping et aux installations récréatives sont également inclus dans cette catégorie.

⁽¹⁾ L_{eq} calculé pour l'heure où le niveau de bruit lié aux infrastructures de transport est le plus élevé dans la limite des horaires d'activité du lieu

Les critères d'impact du guide FTA sont présentés en **Figure 7** suivante. Ils se basent sur la comparaison des bruits extérieurs préexistants (ou bruits résiduels futurs, en l'absence de projets) et les niveaux de bruits générés par le projet seulement. Ils intègrent à la fois des seuils absolus définis pour prévenir les risques d'impact causés par le système de transport seul, et des critères relatifs représentant la gêne due au changement de l'environnement sonore causé par le projet.

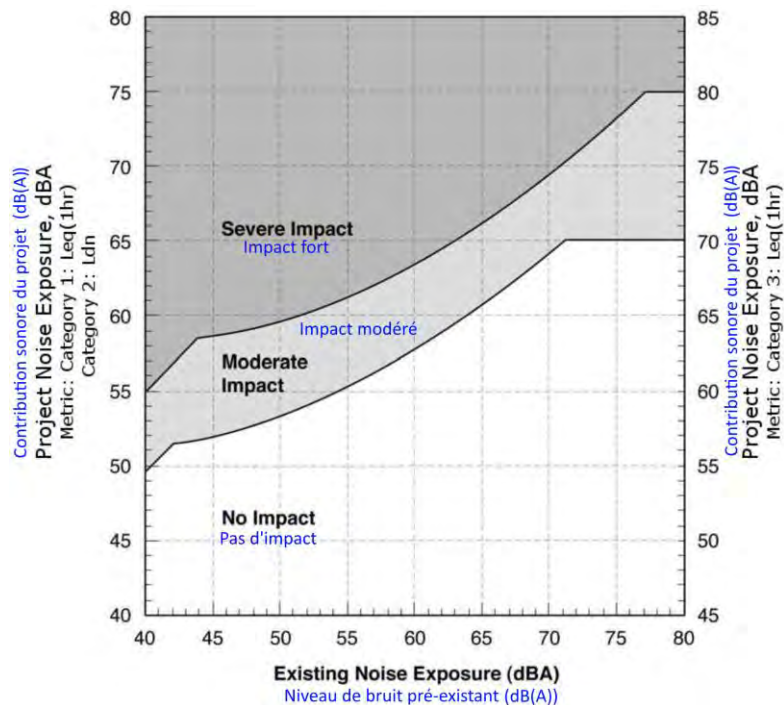


Figure 7 : Critères d'impact sonore pour des systèmes de transport en fonction du niveau de bruit préexistant, selon le guide FTA [6]

En dessous de la courbe la plus basse de la **Figure 7**, il est considéré que le projet n'a pas d'impact sonore, en moyenne. Le projet conduira à une augmentation insignifiante du nombre de personnes fortement gênées par le bruit dans la situation nouvelle. Les critères et indicateurs dépendent de l'usage du site/bâtiment sensible.

Bien que les courbes de la **Figure 7** soient définies en fonction de l'exposition au bruit du projet et de l'exposition au bruit préexistant, il est important de souligner que c'est l'augmentation du niveau de bruit cumulé (bruit du projet ajouté au bruit préexistant) qui est à la base du critère.

Pour illustrer ce point, la **Figure 8** ci-dessous présente le critère d'impact sonore pour les catégories de site 1 et 2, en termes de valeur acceptable d'augmentation de l'exposition au bruit cumulé. L'axe horizontal représente le niveau de bruit préexistant, et l'axe vertical représente l'augmentation du niveau de bruit cumulé due au projet.

La mesure de l'exposition au bruit est le L_{DN} pour les logements et $L_{Aeq}(1 \text{ hr})$ pour les sites qui ne présentent pas de sensibilité au bruit la nuit. Cette figure montre qu'une augmentation de l'exposition au bruit jusqu'à 10 dB(A) n'entraîne pas d'impact (modéré) pour des niveaux de bruit préexistant de 42 dB(A) ou moins,

alors qu'une augmentation du bruit cumulé de seulement 1 dB(A) entraîne un impact modéré, lorsque le niveau de bruit préexistant est supérieur à 70 dB(A).

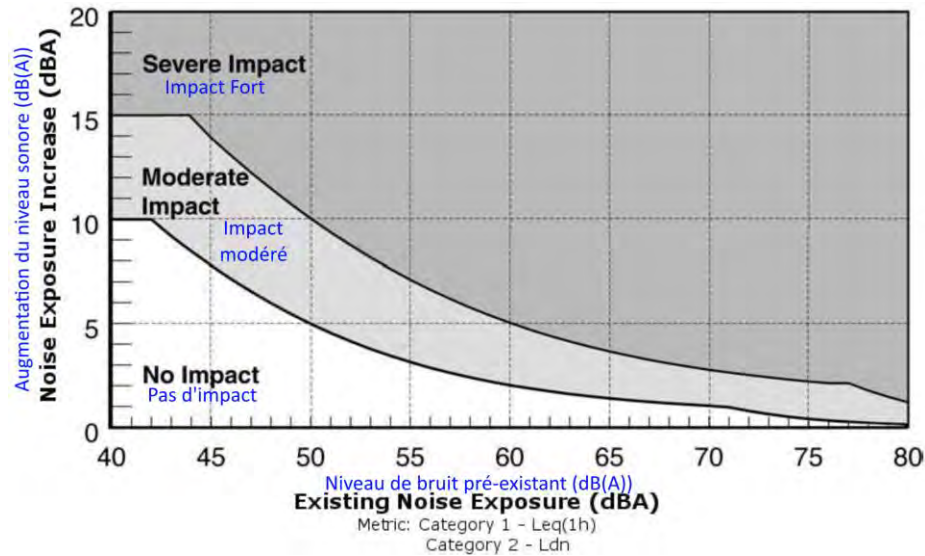


Figure 8 : Émergence maximale admissible et niveau d'impact associé pour chaque critère associé aux sites de catégories 1 et 2
(source: guide FTA [6])

Les critères d'acceptation détaillés sont présentés en **Annexe A**.

Afin d'analyser plus finement les impacts sonores liés au projet, un critère « impact faible » a été inclus pour cette étude dans les seuils du guide FTA. Ce critère correspond à un faible dépassement (entre 0 et +2 dB(A)) du seuil d'impact modéré du guide FTA pour la contribution sonore du projet. Les critères retenus sont présentés en figure suivante.

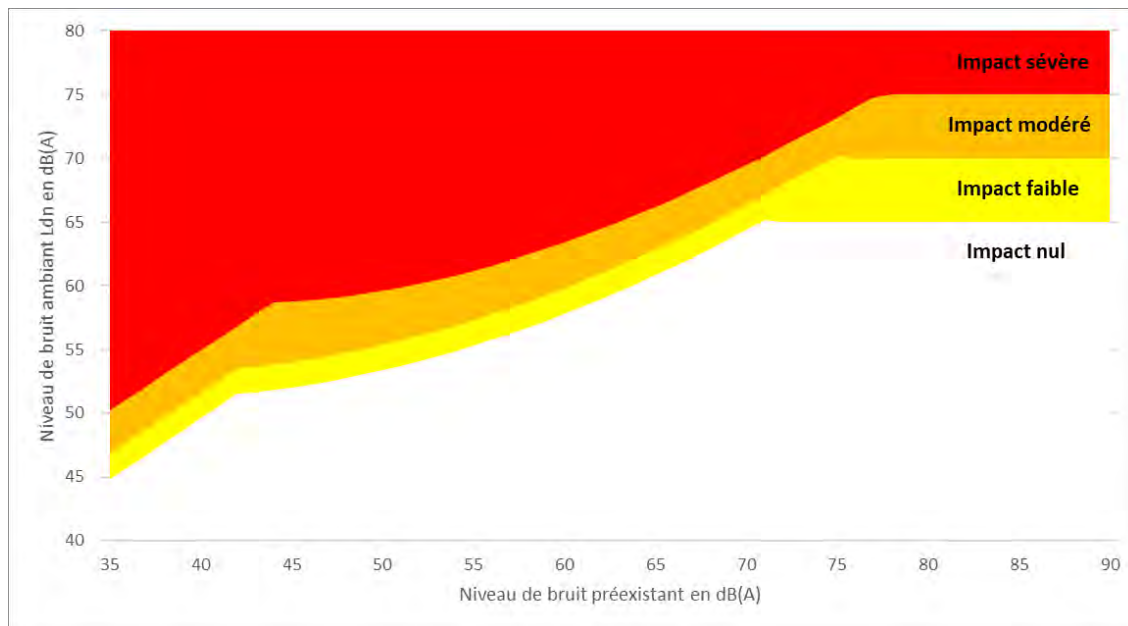


Figure 9 : Critères d'impact sonore pour des systèmes de transport en fonction du niveau de bruit préexistant, avec seuil d'impact faible

4.1.4 Politique sur le bruit routier (1998)

Selon la Politique sur le Bruit routier établie par le ministère des Transports du Québec dans [3] en 1998, il est convenu que « *dans le cadre de projets de construction ou de reconstruction ayant pour effet d'augmenter la capacité ou de changer la vocation de la route, les critères utilisés pour déterminer l'intervention du Ministère sont les suivants :*

- *Jusqu'à 55 dB(A) $L_{eq,24 h}$, les impacts appréhendés seront tout au plus faibles et ne seront pas atténués puisqu'un niveau de 55 dB(A) $L_{eq,24 h}$ et moins est reconnu comme étant acceptable;*
- *Au-dessus de 55 dB(A) $L_{eq,24 h}$, les impacts faibles (selon la grille d'évaluation de l'impact sonore ci-dessous) ne feront pas l'objet d'une intervention;*
- *Au-dessus de 55 dB(A) $L_{eq,24 h}$, les impacts moyens ou forts feront l'objet de mesures d'atténuation. »*

L'approche générale de cette politique est « *d'atténuer les principaux problèmes de pollution sonore en mettant en œuvre des mesures correctives dans les zones où le niveau de bruit extérieur est égal ou supérieur à 65 dB(A) $L_{eq,24 h}$* ».

La grille d'évaluation de l'impact sonore évoquée ci-dessus et présentée ci-dessous, propose d'évaluer la situation d'impact sonore en considérant les valeurs seuils de 55 et 65 dB(A) $L_{eq,24 h}$, mais également les niveaux de bruit ambiants préexistants.

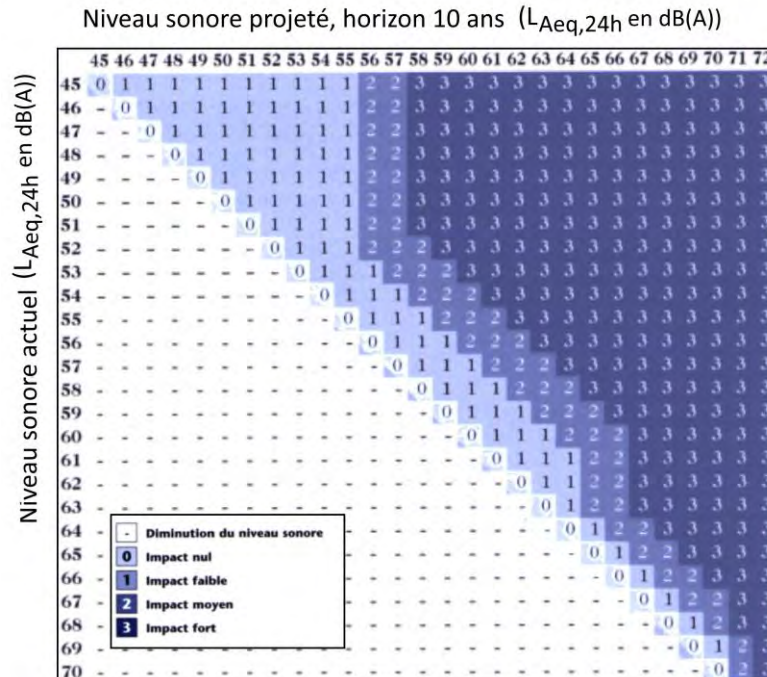


Figure 10 : Grille d'évaluation de l'impact sonore du Bruit routier (projet de construction ou de reconstruction) selon la Politique sur le Bruit routier du Ministère des Transports du Québec, 1998 [3]

Les critères définis par la politique sur le bruit routier ne sont pas retenus dans cette étude pour plusieurs raisons :

- D'une part, ces critères concernent uniquement le bruit routier et ne sont donc pas directement applicables dans le cadre du projet :
- D'autre part :
 - Le seuil $L_{Aeq,24\text{ hr}} > 65\text{ dB(A)}$ ne semble pas adapté dans le cadre du projet, du fait des niveaux de bruit préexistants dépassent régulièrement cette valeur, principalement à cause du bruit routier voire autoroutier très présent dans la ville. Les niveaux de bruit préexistants sont présentés ultérieurement dans ce document;
 - Les seuils proposés par le guide FTA sont globalement plus contraignants que les seuils présentés par la Politique du bruit routier, comme montré en **Annexe B**.
- Enfin, la Politique sur le bruit routier ne fait pas la distinction entre bâtiments affectés selon leur utilisation diurne et/ou nocturne.

4.2 RÉGLEMENTATION APPLICABLE AUX SOURCES DE BRUIT FIXES

4.2.1 Règlement sur le bruit R.V.Q. 978 de la Ville de Québec

Le règlement sur le bruit R.V.Q. 978 de la Ville de Québec [4] stipule que « *un bruit perturbateur excessif ou insolite qui trouble la paix ou la tranquillité des personnes qui résident, travaillent ou se trouvent dans*

le voisinage ou dont le niveau dépasse, dans un lieu habité, le niveau maximal prescrit par le chapitre III constitue une nuisance. »

Ce règlement mentionne des valeurs limites de bruit à ne pas dépasser (sous peine de sanction).

Ce texte est applicable pour le cas des sources fixes du projet du tramway de Québec, si l'on admet toutefois que ces sources sont liées à une « *activité économique de commerce ou d'industrie* », selon les termes employés dans le texte.

Dans le contexte de projet du tramway de Québec, cela concerne toutes les sources de bruit autres que celles produites par les mouvements de rames sur le réseau, à savoir :

- Les postes de transformation de courant;
- Les postes de relevage des eaux (section en tunnel);
- Les installations de ventilation de désenfumage et de confort des tunnels et des espaces publics des stations souterraines;
- Les groupes de refroidissement (thermo-frigo-pompes);
- Les groupes de climatisation.

Il est vraisemblable que les puits/gaines de décompression dans lesquels se propagent les bruits des rames arrivant ou sortant des stations souterraines rentrent dans le cadre d'application de ce règlement également.

En revanche, dans le chapitre IV, il est stipulé : « *Ce règlement ne s'applique pas au bruit produit (etc.) par la circulation routière, ferroviaire, aérienne ou navale (..).* »

Ce texte fixe les valeurs maximales admissibles de niveau de bruit normalisé définies par le R.V.Q. 978 dans un lieu habité en fonction de la période de la journée. La journée, se décompose en trois périodes : le jour de 7 h à 19 h, la soirée de 19 h à 23 h et la nuit de 23 h à 7 h. Ces valeurs sont présentées dans le **Tableau 4**.

Les facteurs de normalisation dépendent du niveau de bruit préexistant, exprimé selon l'indicateur $L_{A,95} \%$. Ils sont présentés en **Tableau 5**.

Il est important de noter que les valeurs limites imposées à l'intérieur du logement (chambre à coucher, salle de séjour, autre pièce) ne sont pas vérifiables directement dans l'étude acoustique.

En effet, il faudrait pour cela connaître l'emplacement des chambres à coucher (pièce dimensionnante) ainsi qu'émettre une hypothèse sur l'indice d'isolement acoustique moyen des bâtiments exposés au bruit du projet. Une telle hypothèse serait contestable, et il n'est pas raisonnable de mesurer cette grandeur pour tous les bâtiments.

Il apparaît donc logique d'appliquer les valeurs limites de bruit définies à l'extérieur des logements (désigné par *espace non bâti*).

Tableau 3 : Niveau de bruit normalisé maximum admissible pour un lieu habité selon le R.V.Q. 978.

Lieu habité	Niveau maximal de bruit normalisé, en dB(A)		
	Jour 7 h – 19 h	Soirée 19 h – 23 h	Nuit 23 h – 7 h
Chambre à coucher	45	40	38
Salle de séjour	45	40	40
Autre pièce	45	45	45
Espace non bâti	60	55	50

Tableau 4 : Facteur pour la normalisation des niveaux de bruit selon le niveau de bruit ambiant préexistant $L_{A,95}$ %.

Jour (7 h – 19 h)	Soirée (19 h – 23 h)	Nuit (23 h – 7 h)	Normalisation (dB)
$L_{A,95} \% < 40$	$L_{A,95} \% < 40$	$L_{A,95} \% < 35$	+7,5
$40 \leq L_{A,95} \% < 44$	$40 \leq L_{A,95} \% < 44$	$35 \leq L_{A,95} \% < 40$	+5
$44 \leq L_{A,95} \% < 48$	$44 \leq L_{A,95} \% < 48$	$40 \leq L_{A,95} \% < 45$	+2
$48 \leq L_{A,95} \% < 54$	$48 \leq L_{A,95} \% < 54$	$45 \leq L_{A,95} \% < 48$	0
$54 \leq L_{A,95} \% < 59$	$54 \leq L_{A,95} \% < 59$	$49 \leq L_{A,95} \% < 52$	-2
$59 \leq L_{A,95} \%$	$59 \leq L_{A,95} \%$	$52 \leq L_{A,95} \%$	-5

Remarque :

Bien qu'il ne soit pas réaliste d'étudier la conformité du projet avec les objectifs réglementaires définis à l'intérieur des bâtiments pour tous les bâtiments sensibles exposés, il semble toutefois possible d'estimer pour quelques logements (les plus sensibles par exemple) à partir des niveaux sonores calculés en façade, les niveaux de bruit à l'intérieur. Il sera toutefois nécessaire de mesurer ou calculer l'indice d'isolation OITC des bâtiments considérés.

Des calculs simples montrent que l'indice d'isolation OITC de façades de logement avec fenêtres ouvertes (dans la limite de 50 % des surfaces vitrées, comme stipulé à l'article 25 du règlement) devrait se situer aux environs de 7 et 13 dB. Cette valeur va dépendre de la surface des fenêtres, des propriétés acoustiques du lieu, de la distance entre le point de mesure et la fenêtre et enfin, des propriétés d'isolation acoustique de la façade (fenêtre fermée).

En considérant une valeur moyenne d'isolation acoustique de 10 dB, l'ordre de grandeur des valeurs objectifs en façade au droit des chambres à coucher serait donc de 55 dB(A) le jour, 50 dB(A) en soirée et 48 dB(A) la nuit (à comparer aux valeurs de 60 dB(A) le jour, 55 dB(A) en soirée et 50 dB(A) la nuit à l'extérieur en un point non défini, potentiellement à plus faible distance de la ligne du tramway que le point en façade).

4.2.2 Note d'instructions relative au « Traitement des plaintes sur le bruit et les exigences aux entreprises qui le génère » du MELCC

La note d'instruction sur les exigences relatives au bruit des entreprises [5] précise le cadre applicatif des articles 20 et 22 du règlement LRQ (c. Q-2) au sujet des sources fixes. Les sources fixes sont définies comme suit : « une industrie, une manufacture, une centrale génératrice d'énergie, une ligne à haute tension, un poste de transformation électrique, un lieu d'enfouissement, un champ de tir et toute entreprise qui exploite un procédé ».

Cela concerne toutes les sources de bruit autres que celles produites par les mouvements de rames sur le réseau (voir la liste dans la section précédente 4.2.1).

Il est vraisemblable que les puits/gaines de décompression dans lesquels se propagent les bruits des rames arrivant ou sortant des stations souterraines rentrent dans le cadre d'application de ce règlement également.

Le niveau sonore maximum acceptable des sources fixes est défini en termes de **niveau acoustique d'évaluation ($L_{Ar,1h}$)** qui est calculé comme suit :

$$L_{Ar,1h} = L_{Aeq,1h} + K_I + K_T + K_S$$

où :

- $L_{Ar,1h}$ est le niveau acoustique d'évaluation pondéré A pour l'intervalle de référence d'une heure définie ci-dessous;
- $L_{Aeq,1h}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A pour tout intervalle de référence d'une heure continue durant la période nocturne de 19 h à 7 h, et la période diurne de 7 h à 19 h (il s'agit donc de l'intervalle d'une heure le plus bruyant);
- K_I est un terme correctif pour les bruits d'impact (ou impulsionnels);
- K_T est un terme correctif pour le bruit à caractère tonal;
- K_S est un terme correctif pour certaines situations spéciales, tels les bruits perturbateurs ou les bruits de basse fréquence.

La définition des termes correctifs K_I , K_T et K_S est présentée en **Annexe C** du présent document.

Le niveau acoustique d'évaluation ($L_{Ar,1h}$) d'une source fixe sera inférieur, en tout temps, pour tout intervalle de référence d'une heure continue et en tout point de réception du bruit, au plus élevé des niveaux sonores suivants : le niveau de bruit résiduel ($L_{95\%}$), ou le niveau maximal permis selon le zonage et la période de la journée, tel que mentionné au tableau suivant

Tableau 5 : Définition des niveaux de bruit maximums admissibles selon l'usage du terrain affecté d'après le règlement LRQ

Zonage	Valeur maximale du niveau acoustique $L_{A,r,1h}$ en dB(A)	
	Nuit (19 h – 7 h)	Jour (7 h – 19 h)
I : Territoire destiné à des habitations unifamiliales isolées ou jumelées, à des écoles, hôpitaux ou autres établissements de services d'enseignement, de santé ou de convalescence. Terrain d'une habitation existante en zone agricole.	40	45
II : Territoire destiné à des habitations en unités de logement multiples, des parcs de maisons mobiles, des institutions ou des campings.	45	50
III: Territoire destiné à des usages commerciaux ou à des parcs récréatifs⁽¹⁾	50	55
IV : Territoire zoné pour fins industrielles ou agricoles⁽²⁾	70	70

- (1) Le niveau de bruit prévu pour la nuit ne s'applique que dans les limites de propriété des établissements utilisés à des fins résidentielles. Dans les autres cas, le niveau maximal de bruit prévu le jour s'applique également la nuit.
- (2) Sur le terrain d'une habitation existante en zone industrielle et établie conformément aux règlements municipaux en vigueur au moment de sa construction, les critères sont de 50 dB(A) la nuit et 55 dB(A) le jour.

Il est également stipulé :

- Les critères d'acceptabilité accordent à une source fixe le niveau de bruit le plus élevé entre le niveau de bruit résiduel (etc.) et le niveau maximal permis selon le zonage et la période de la journée (valeurs du tableau ci-dessus).
- Cependant, à partir du moment où le niveau maximum est atteint, les ajouts d'activités ou l'augmentation de production de la source fixe ne doivent amener aucune augmentation supplémentaire du niveau sonore.
- Puisque les critères d'acceptabilité constituent les limites maximums permises, il est toujours souhaitable et recommandé, dans une perspective de développement durable, que l'exploitant ou l'initiateur en plus de respecter ces critères prenne toute mesure « faisable et raisonnable » et favorise des pratiques d'exploitation de façon que sa contribution sonore soit le moins perceptible possible en zones sensibles.
- Ces critères ne s'appliquent pas à une source de bruit en mouvement sur un chemin public.

Le règlement précise la position du point de mesure :

- La mesure du niveau de bruit pour la période de 7 h à 22 h doit être faite préférentiellement à au moins 3 mètres d'un bâtiment et être située sur n'importe quel point du terrain pour lesquels les résidents ou les bénéficiaires peuvent démontrer qu'ils en font raisonnablement usage.
- La mesure du niveau de bruit pour la période de 22 h à 7 h (période de sommeil) doit préférentiellement être réalisée entre 3 et 6 mètres de toute chambre à coucher ou dortoir.

4.3 RÉSUMÉ DES CRITÈRES ET INDICATEURS RETENUS

Les critères retenus sont :

- Pour les sections en surface : les seuils du guide FTA avec prise en compte d'un critère d'impact faible;
- Pour les sections souterraines : les seuils des règlements R.V.Q. 978 de la Ville de Québec et la note d'instructions relative au « Traitement des plaintes sur le bruit et les exigences aux entreprises qui le génère » du MELCC.

4.3.1 Tramway en surface

Les émergences maximales admissibles en façade selon le niveau de bruit préexistant sont données en figure ci-dessous.

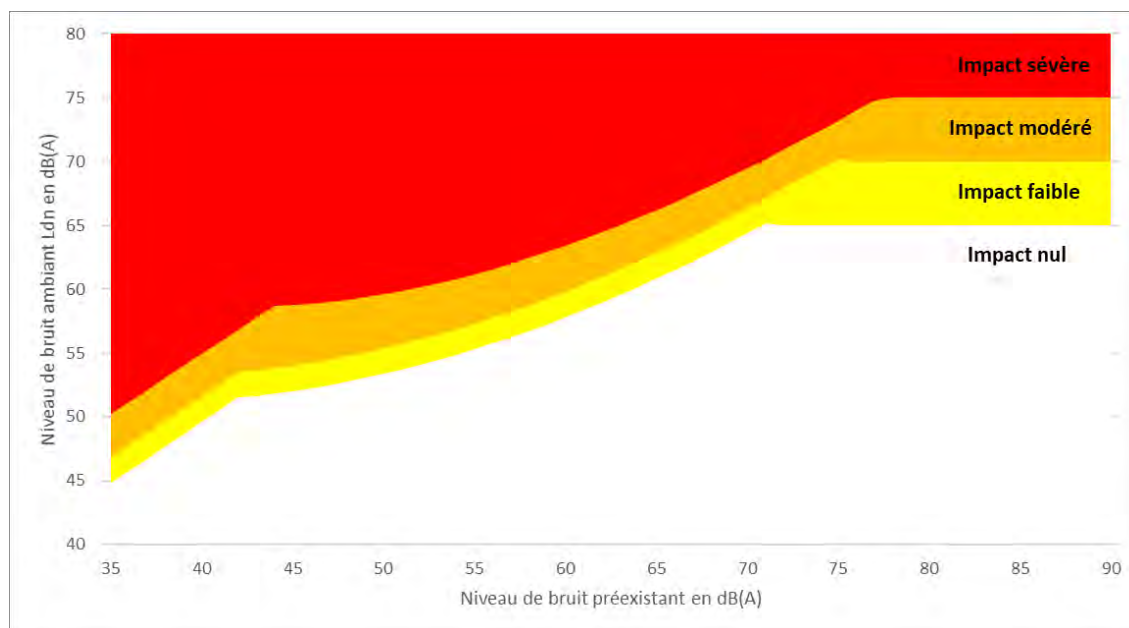


Figure 11 : Contribution sonore maximale du projet en fonction du niveau de bruit préexistant, selon la catégorie de bâtiment
Catégorie 1 (bâtiments très sensibles) et 3 (institutions) : LAeq(1 hr); Catégorie 2 (bâtiments résidentiels) : L_{DN}

Les indicateurs retenus pour statuer sur le niveau d'impact acoustique des sections de voie en surface sont les suivants :

- Niveau L_{DN} en dB(A) pour les bâtiments de logements;
- Niveau L_{Aeq}(7 h – 22 h) en période diurne pour les bâtiments institutionnels.

4.3.2 Tramway souterrain et installations techniques en station souterraine

Règlement sur le bruit R.V.Q. 978 de la Ville de Québec

Les niveaux sonores maximums admissibles selon le Règlement sur le bruit R.V.Q. 978 de la Ville de Québec sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Niveaux de bruit normalisés maximums admissibles d'après le règlement R.V.Q. 978 de Québec

Lieu habité	Niveau maximal de bruit normalisé, en dB(A)		
	Jour 7 h – 19 h	Soirée 19 h – 23 h	Nuit 23 h – 7 h
Chambre à coucher	45	40	38
Salle de séjour	45	40	40
Autre pièce	45	45	45
Espace non bâti	60	55	50

Pour normaliser les niveaux de bruit mesurés ou calculés, il convient d'additionner ces niveaux avec les valeurs de normalisation résumées dans le tableau suivant. L'indicateur utilisé est le $L_{A,95\%}$.

Tableau 7 : Valeurs de normalisation du niveau de bruit d'après le règlement R.V.Q. 978 de Québec

Jour (7 h – 19 h)	Soirée (19 h – 23 h)	Nuit (23 h – 7 h)	Normalisation (dB(A))
$L_{A,95\%} < 40$	$L_{A,95\%} < 40$	$L_{A,95\%} < 35$	+7,5
$40 \leq L_{A,95\%} < 44$	$40 \leq L_{A,95\%} < 44$	$35 \leq L_{A,95\%} < 40$	+5
$44 \leq L_{A,95\%} < 48$	$44 \leq L_{A,95\%} < 48$	$40 \leq L_{A,95\%} < 45$	+2
$48 \leq L_{A,95\%} < 54$	$48 \leq L_{A,95\%} < 54$	$45 \leq L_{A,95\%} < 48$	0
$54 \leq L_{A,95\%} < 59$	$54 \leq L_{A,95\%} < 59$	$49 \leq L_{A,95\%} < 52$	-2
$59 \leq L_{A,95\%}$	$59 \leq L_{A,95\%}$	$52 \leq L_{A,95\%}$	-5

Note d'instructions relative au « Traitement des plaintes sur le bruit et les exigences aux entreprises qui le génère » du MELCC (LRQ (c. Q-2), articles 20 et 22. Les niveaux sonores maximums admissibles à 3 m des façades selon la note d'instruction sur le bruit et les exigences aux entreprises qui le génèrent sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Définition des niveaux de bruit maximums admissibles selon l'usage du terrain affecté d'après le règlement LRQ

Zonage	Valeur maximale du niveau acoustique $L_{Ar,1 h}$ en dB(A)	
	Nuit (19 h – 7 h)	Jour (7 h – 19 h)
I : Territoire destiné à des habitations unifamiliales isolées ou jumelées, à des écoles, hôpitaux ou autres établissements de services d'enseignement, de santé ou de convalescence. Terrain d'une habitation existante en zone agricole	40	45
II : Territoire destiné à des habitations en unités de logement multiples, des parcs de maisons mobiles, des institutions ou des campings.	45	50
III: Territoire destiné à des usages commerciaux ou à des parcs récréatifs⁽¹⁾	50	55
IV : Territoire zoné pour fins industrielles ou agricoles⁽²⁾	70	70

(1) Le niveau de bruit prévu pour la nuit ne s'applique que dans les limites de propriété des établissements utilisés à des fins résidentielles. Dans les autres cas, le niveau maximal de bruit prévu le jour s'applique également la nuit.

(2) Sur le terrain d'une habitation existante en zone industrielle et établie conformément aux règlements municipaux en vigueur au moment de sa construction, les critères sont de 50 dB(A) la nuit et 55 dB(A) le jour.

L'indicateur utilisé est le niveau acoustique d'évaluation sur une heure $L_{Ar,1 h}$, défini au paragraphe suivant.

5. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

L'étude comporte les étapes principales suivantes :

- Caractérisation de l'état sonore actuel :
 - Inventaire du climat sonore actuel : caractérisation expérimentale des niveaux sonores préexistants (19 points de mesure de 24 hr, et 25 prélèvements de 1 hr en journée);
 - Création du modèle acoustique environnemental à l'aide du logiciel CadnaA (version 2019 MR 2);
 - Simulation du climat sonore actuel, après recalage du modèle acoustique sur les données mesurées;
- Inventaire des composantes du milieu exposé au bruit du projet, incluant l'identification des récepteurs sensibles : cas isolés (récepteurs de sensibilité particulière, sites à fort enjeu, lieux emblématiques) et cas courant (bâtiments résidentiels représentatifs de groupes de bâtiments de même type et sensibilité);
- Simulation des niveaux de bruit en situation projetée et analyse de l'impact lié à l'exploitation du tramway et aux modifications de voirie (et trafic associé);
- Définition de mesures de réduction du bruit (à intégrer au programme) et simulation de leur efficacité;
- Analyse finale des risques d'impact avec prise en compte de l'ensemble des mesures de mitigation du bruit sélectionnées.

6. CARACTÉRISATION DE L'AMBIANCE SONORE EXISTANTE

6.1 MESURES DU BRUIT

Deux campagnes de mesure acoustique ont été réalisées pour décrire l'ambiance sonore avant le projet. Ces mesures permettent de réaliser le recalage de notre modèle numérique et de valider la modélisation de l'état initial du projet.

La première campagne fut menée par la société Stantec, mandatée par la Ville de Québec, du mardi 11 juin 2019 au mardi 18 juin 2019 (période scolaire). La seconde campagne s'est déroulée du mardi 17 septembre au mercredi 18 septembre 2019 (période scolaire). Les relevés sonores L_{Aeq} ont été effectués sur une période de 24 hr consécutives ou 1 hr avec un temps d'intégration de 1 s. Pour les mesures d'une durée de 24 hr, les niveaux sonores $L_{Aeq,24\text{ hr}}$, $L_{Aeq,jour}$, $L_{Aeq,nuit}$, L_{DN} peuvent être obtenus.

Une mesure d'une durée de 24 hr permet d'avoir une bonne représentation de l'ambiance sonore sur les périodes réglementaires et de valider la variabilité des expositions sonores sur une journée complète.

Chacun des points où le relevé est effectué sur une période de 1 hr, un comptage du trafic routier est réalisé. Un relevé du trafic routier sur une durée de 24 hr a également été fait durant cette même période, cette donnée est développée dans la suite du document. Pour chaque relevé, cinq catégories de véhicules ont été comptabilisées :

- Automobile
- Motocycle
- Autobus
- Camion léger
- Camion lourd

La première campagne de mesure comprend 28 points de mesure (12 points d'une mesure sur une durée de 24 hr et 16 points d'une durée de 1 hr) le long du linéaire du tracé et la seconde campagne de mesure comprend 18 points de mesure (7 points d'une mesure sur une durée de 24 hr et 12 points d'une durée de 1 hr).

Le **Tableau 9** suivant regroupe les valeurs de niveaux sonores globaux relevés en chacun des points de mesure sur une durée de 24 heures ($L_{Aeq,24\text{ hr}}$) ainsi que pour une durée de 1 heure ($L_{Aeq,1\text{ hr}}$). Les amplitudes horaires de relevé y sont également précisées.

La localisation des différents points de mesures est indiquée sur les **Figure 12**, **Figure 13** et **Figure 14**.

Tableau 9 : Localisation et dates des points de mesures

Campagne de mesure	Point de mesure	Adresse	Date de relevé	Heure de début	Heure de fin	L _{Aeq,24 hr} (dB(A))	L _{Aeq,1 hr} (dB(A))
1	T3-PM1	691 rue Gingras	17/06/2019	9 h	9 h	51,7	-
1	T3-PP1	3560 avenue McCartney	13/06/2019	12 h 28	13 h 28	-	68,4
2	T3-PP1	3560 avenue McCartney	17/09/2019	9 h 01	10 h 01	-	54,2
2	T3-PP2	878 boulevard Pie XII	17/09/2019	10 h 20	11 h 20	-	48,6
1	T4-PM1	Entre 3419 et 3421 chemin des Quatre-Bourgeois	17/06/2019	9 h 30	9 h 30	60,7	-
1	T4-PP1	916 boulevard Pie-XII	13/06/2019	14 h	15 h	-	52,9
1	T4-PM2	3104 chemin des Quatre-Bourgeois	17/06/2019	10 h	10 h	61	-
1	T4-PP2	1001 avenue Bégon	13/06/2019	7 h 01	8 h 01	-	65,2
2	T4-PP3	3155 chemin des Quatre-Bourgeois	17/09/2019	11 h 46	12 h 46	-	62,4
2	T4-PP4	3017 rue Jacques Amyot	17/09/2019	13 h 46	14 h 46	-	64,6
2	T6-PM1	3094 rue des Châtelets	17/09/2019	10 h	10 h	59,1	-
1	T7-PM1	2591 boulevard Laurier	17/06/2019	16 h	17 h	-	63
1	T7-PP1	1200 avenue Germain-des-Prés	17/06/2019	8 h 45	9 h 45	-	69,6
1	T7-PM2	2407 boulevard Laurier	17/06/2019	11 h	11 h	60,4	-
2	T7-PM3	1100 avenue de la Médecine	17/09/2019	10 h	10 h	57,1	-
2	T7-PP2	2705 boulevard Laurier	18/09/2019	9 h 24	10 h 24	-	67,2
1	T8-PP1	1002 allée des Gouverneurs	13/06/2019	10 h	11 h	-	59,1
1	T9-PM1	2088 boulevard René-Lévesque Ouest	18/06/2019	10 h 15	10 h 15	65,4	-
1	T9-PM2	370 boulevard René-Lévesque Ouest	18/06/2019	11 h 45	11 h	66,2	-
2	T09-PP1	1626 boulevard René-Lévesque Ouest	18/09/2019	9 h 01	10 h 01	-	68,5
2	T09-PP2	1120 boulevard René-Lévesque Ouest	11/10/2019	9 h 11	10 h 11	-	62,1
1	T9-PP3	945 avenue Belvédère	13/06/2019	8 h 30	9 h 30	-	65,1
2	T10-PM1	102 boulevard René-Lévesque Ouest	17/09/2019	12 h	12 h	65,1	-
2	T10-PM2	269 boulevard René-Lévesque Ouest	17/09/2019	11 h	11 h	55,9	-
2	T10-PM3	900 boulevard René-Lévesque Ouest	17/09/2019	11 h	11 h	58,7	-
2	T10-PP1	rue D'Youville – Place d'Youville	17/09/2019	11 h 42	12 h 38	-	56,5
1	T10-PP2	450 boulevard Charest Est	13/06/2019	13 h	14 h	-	69,9
2	T10-PP2	450 boulevard Charest Est	17/09/2019	12 h 55	13 h 55	-	66,8
1	T11-PM1	395 rue du Prince-Édouard	18/06/2019	12 h 15	12 h 15	65,5	-
1	T12-PP1	330 rue de la Croix-Rouge	12/06/2019	14 h 29	15 h 29	-	65,5

Campagne de mesure	Point de mesure	Adresse	Date de relevé	Heure de début	Heure de fin	L _{Aeq,24 hr} (dB(A))	L _{Aeq,1 hr} (dB(A))
1	T13-PM1	530 1 ^{re} Avenue	11/06/2019	17 h 45	17 h 45	61,6	-
1	T13-PP1	545 1 ^{re} Avenue	12/06/2019	10 h 30	11 h 30	-	64,5
1	T13-PP2	1155 1 ^{re} Avenue	12/06/2019	12 h	13 h	-	63,5
1	T13-PM3	1585 1 ^{re} Avenue	11/06/2019	18 h 30	18 h 30	63,2	-
1	T14-PM1	3325 1 ^{re} Avenue	11/06/2019	19 h	19 h	66,1	-
1	T14-PM2	56 rue de la Sapinière Dorion Est	12/06/2019	10 h 30	11 h 30	-	57,4
1	T14-PP1	2011 1 ^{re} Avenue	17/06/2019	13 h 31	14 h 31	-	67,4
2	T14-PP2	2310 1 ^{re} Avenue	17/09/2019	14 h 11	15 h 11	-	66,8
1	T14-PP3	2789 1 ^{re} Avenue	12/06/2019	12 h 30	13 h 30	-	65,4
1	T15-PM1	5140 1 ^{re} Avenue	11/06/2019	19 h 45	19 h 45	67,4	-
1	T16-PP1	6125 1 ^{re} Avenue	12/06/2019	8 h 48	9 h 48	-	68,5
1	T16-PP2	6630 avenue Isaac Bédard	12/06/2019	7 h 11	8 h 11	-	68,5
2	T16-PP2	6630 avenue Isaac Bédard	17/09/2019	9 h	9 h	61,2	-
1	T17-PM1	7474 boulevard Henri-Bourassa	11/06/2019	18 h 30	18 h 30	66,6	-
2	CEE	230 Rue Sapinière Dorion O	18/09/2019	14 h	15 h	56,7	-
2	St Roch	390 rue Chalutier	18/09/2019	11 h	12 h	-	57,2

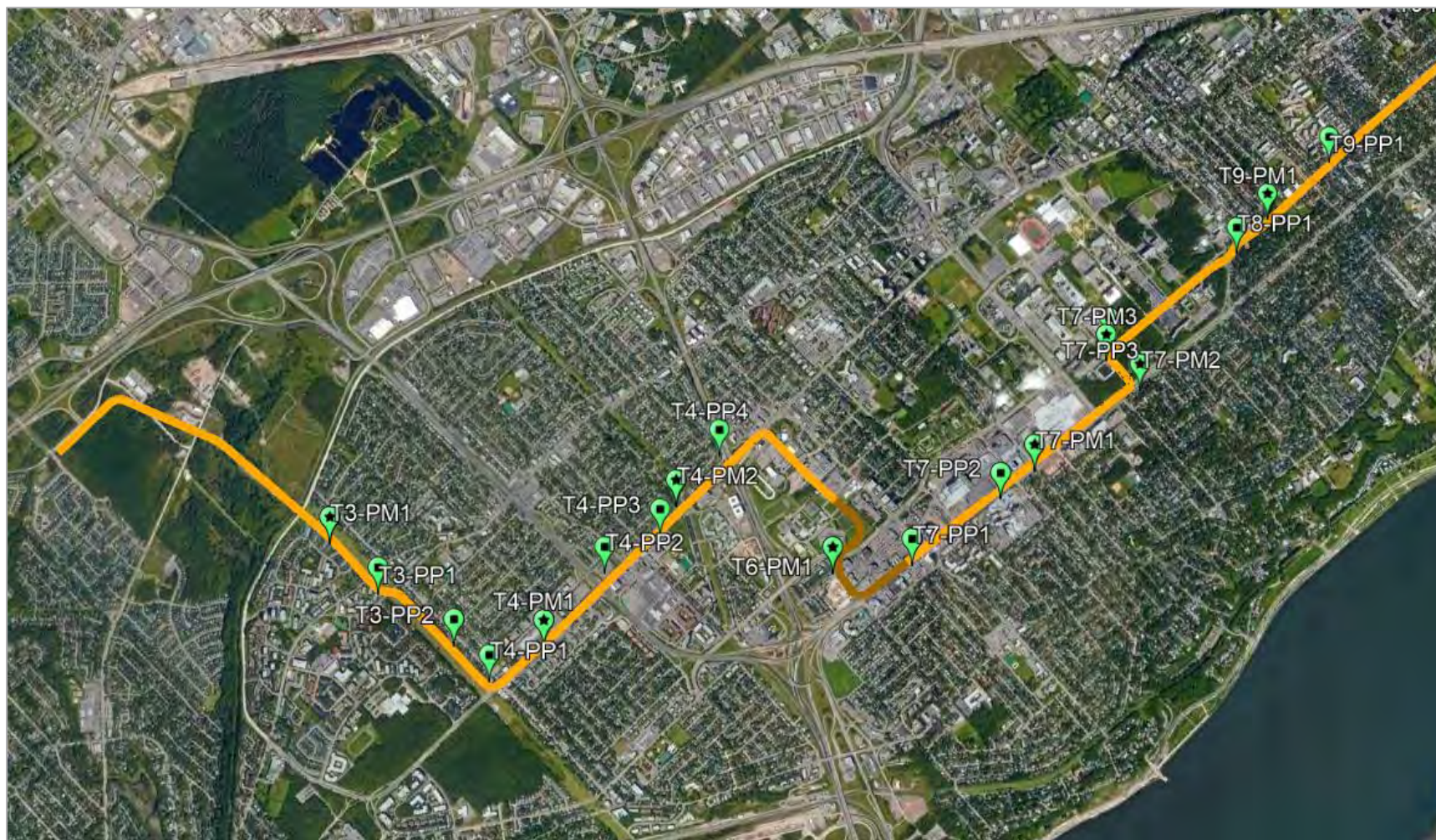


Figure 12 : Vue d'ensemble de la localisation des points de mesures le long du tracé, Zone Sud-Ouest
(source : Google Earth)

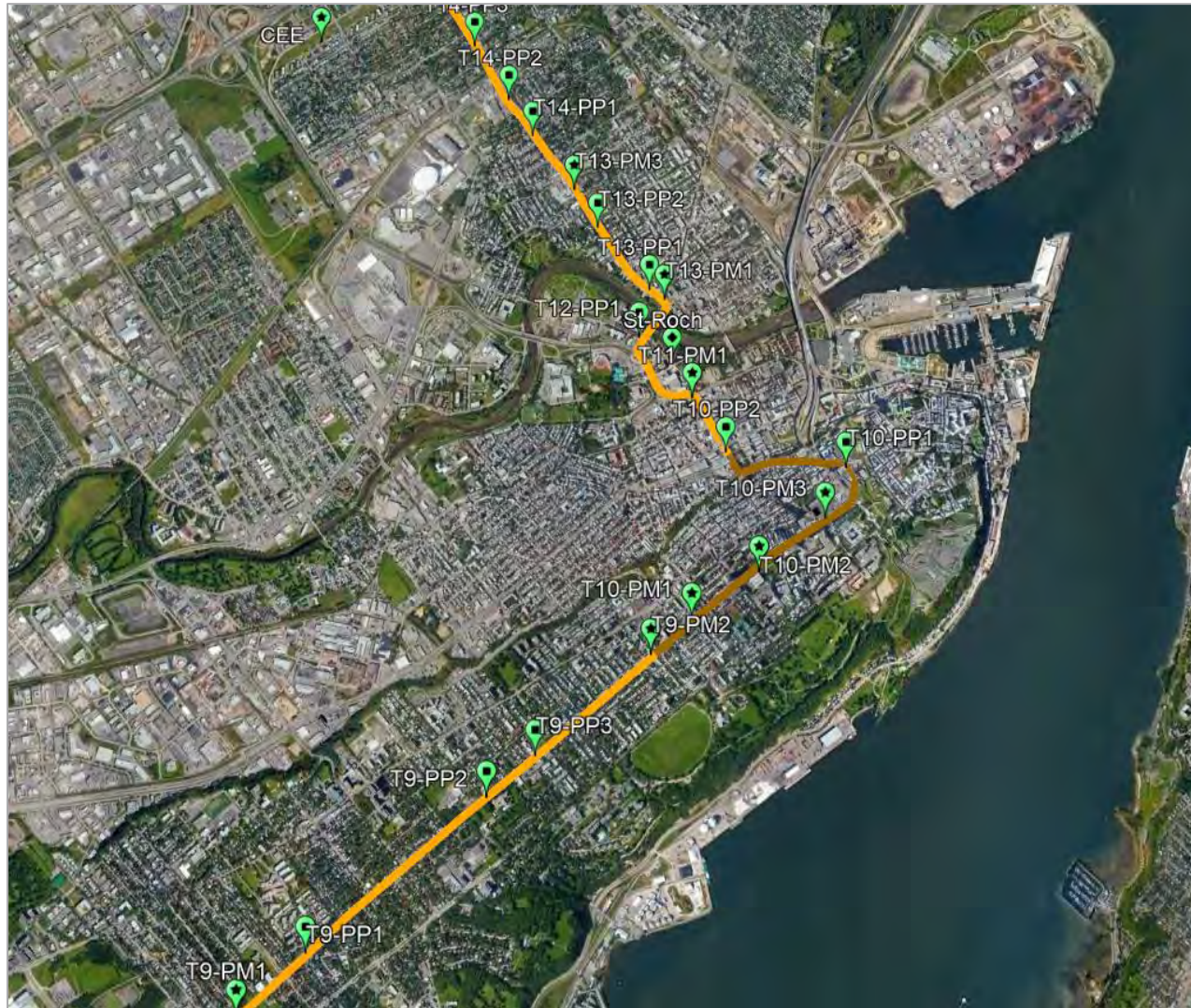
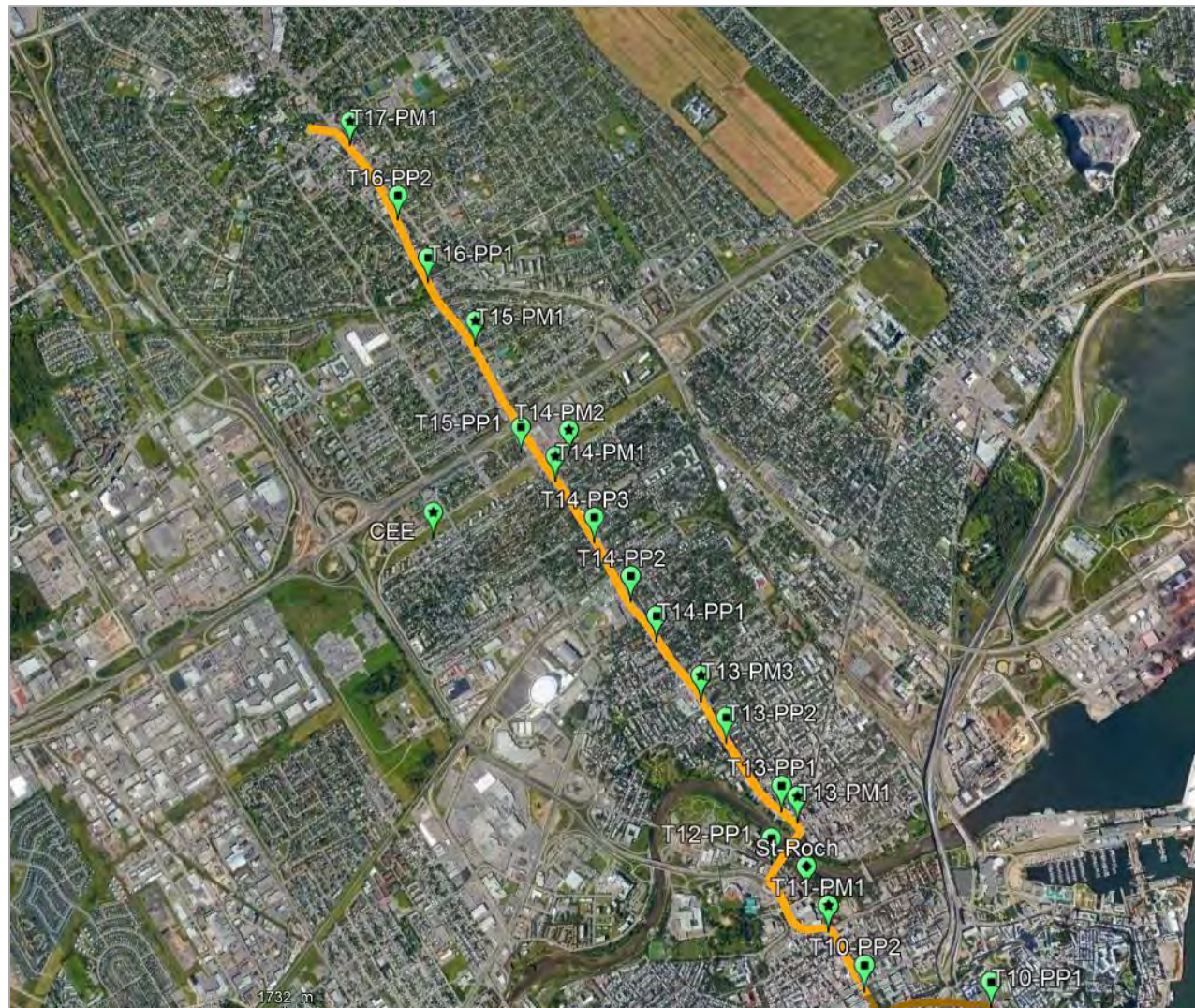


Figure 13 : Vue d'ensemble de la localisation des points de mesures le long du tracé, Zone Sud-Est
(source : Google Earth)



**Figure 14 : Vue d'ensemble de la localisation des points de mesures le long du tracé, Zone Nord-Est
(source : Google Earth)**

6.2 EFFETS DES VOIES FERRÉES EXISTANTES

Le tracé du tramway de Québec croise deux voies ferrées existantes, comme montré en **Figure 15**. Ces voies constituent une source de bruit qui contribue au bruit ambiant avant-projet.

Pour modéliser cette source, il est nécessaire de connaître les informations suivantes :

- Le nombre de trains par heure et par période;
- Le(s) type(s) de train(s) qui y circule(nt).

À cette étape de l'étude, ces données ne sont pas connues précisément. Cependant, le modèle a pu être recalé sans prises en compte de ces sources, notamment au récepteur T14-PP2 qui est localisé à 300 m de la seconde voie ferroviaire. Ce recalage permet de mettre en évidence que cette source n'est pas la source principale dans l'ambiance sonore existante.



Figure 15 : Localisation des voies ferrées existantes autour du projet
 À gauche : Voie ferrée 1 au PK 20+700; À droite : Voie ferrée 2 au PK 140+700
 (source : Google Earth)

6.3 MODÉLISATION DE L'AMBIANCE SONORE EXISTANTE

6.3.1 Méthodologie

Pour modéliser l'ambiance sonore le long du projet, des calculs sont effectués à partir du logiciel CadnaA (version 2019 MR 2), qui permet de modéliser en 3D la propagation acoustique d'une source routière et/ou ferroviaire, ainsi que toute autre source de bruit. Ce logiciel permet également de prendre en compte divers paramètres influents sur la propagation d'une onde, comme la topographie, la nature du sol, les effets météorologiques ou encore les bâtiments. À partir de ces différents paramètres, les niveaux sonores en façade des différents bâtiments sensibles peuvent être obtenus.

La modélisation de l'ambiance sonore existante est effectuée à partir des données d'entrée (topographie, bâtiment, infrastructure routière, infrastructure ferroviaire) qui nous ont été fournies par la ville de Québec. Les données d'entrée sont connues sur une distance de 400 m de part et d'autre du tracé du projet.

Le modèle numérique réalisé est ajusté et recalé sur les différents points de mesures, décrits dans la section précédente, afin de définir la situation acoustique existante diurne et nocturne selon les indicateurs L_{eq} et L_{DN} sur l'ensemble du site.

Les calculs sont réalisés en application de la méthode NMPB2008 (Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit 2008) qui intègre les effets météorologiques pour les sources ferroviaires et routières.

6.3.2 Hypothèses de trafic

Le trafic routier est une source acoustique à prendre en compte pour décrire l'ambiance sonore existante. Les Débits Moyens Journaliers Annuelles (DMJA) pour les voiries les plus importantes ont été fournis par la Ville de Québec, et sont présentés en **Annexe D**. Le DMJA comptabilise le trafic de cinq catégories de véhicule : les motocycles, les automobiles, les autobus, les camions légers et les camions lourds.

Le DMJA est donné pour les deux sens de circulation de chaque voirie. Pour permettre de recalibrer le modèle, un relevé du trafic routier sur une durée de 24 hr a été réalisé entre le mardi 11 juin 2019 et le mardi 18 juin 2019 (période scolaire). Les relevés du trafic routier ont été réalisés à des positions proches de celles où des mesures acoustiques de 24 hr ont été réalisées (le long du futur tracé de la ligne de tramway), mais pas forcément le même jour. Les résultats des relevés sont présentés dans le **Tableau 10**.

Tableau 10 : Relevé du trafic routier selon différentes catégories de véhicules

Point de mesure	Adresse	Date de relevé	Heure de début	Moto	Auto.	Bus	Camion Léger	Camion Lourd	Total	DMJA	% Écart
T4-PM1	3415 boulevard des Quatre-Bourgeois	17/06/2019	9 h 30	50	9 417	626	113	21	10 227	10 100	1,3
T4-PM2	3085 boulevard des Quatre-Bourgeois	17/06/2019	10 h	74	13 750	636	125	70	14 655	16 600	11,7
T7-PM1	2591 boulevard Laurier	17/06/2019	8 h	122	32 081	1622	436	304	34 565	31 700	9,0
T7-PM2	2421 boulevard Laurier	17/06/2019	11 h	258	30 500	1284	381	245	32 668	29 600	10,4
T9-PM1	2088 Boulevard René-Lévesque O	18/06/2019	10 h 15	85	10 807	686	74	31	11 683	12 500	-6,5
T9-PM2	310 Boulevard René-Lévesque O	18/09/2019	11 h 45	118	11 190	780	158	41	12 287	10 600	15,9
T11-PM1	395 rue du Prince-Édouard	18/06/2019	12 h 15	97	68 887	97	121	15	7 217	5 100	41,5
T13-PM1	410 1 ^{re} Avenue	11/06/2019	17 h 45	77	6 679	327	101	14	7 198	7 500	-4,0
T14-PM1	3325 1 ^{re} Avenue	11/06/2019	17 h 45	123	10 309	257	162	40	10 891	10 600	2,7

Il est constaté qu'à l'exception du relevé T11-PM1, tous les relevés sont du même ordre de grandeur que les DMJA.

L'écart important (41 %) constaté sur le relevé T11-PM1 est dû probablement à une déviation d'une rue secondaire adjacente entraînant une augmentation du trafic routier sur la rue concernée par le relevé.

Par conséquent, les faibles écarts de trafic constatés sur les relevés (entre 1 et 15 %) représentent un écart de moins de 1 dB sur les niveaux acoustiques induits.

Les données DMJA actuelles sont donc confirmées et prises en compte dans le modèle acoustique.

Il convient de préciser qu'il n'a pas été jugé nécessaire de modéliser le bruit provenant des routes secondaires adjacentes au projet, du fait de leur faible trafic routier et, par conséquent, leur faible impact acoustique masqué par le bruit des routes principales.

6.3.3 Hypothèses météorologiques

Les conditions météorologiques sont prises en compte dans le modèle de calcul acoustique selon la norme ISO 9613, intitulée « Atténuation du son lors de sa propagation à l'air ».

Il s'agit de la prise en compte de l'effet des conditions météorologiques sur la propagation du son. Ainsi, les effets météorologiques utilisés sont les suivants :

50 % favorables à la propagation du son la journée, et à 100 % favorables la nuit.

Ce qui correspond à :

- Des vitesses du vent entre 1 m/s et 5 m/s;
- Une inversion modérée de la température au niveau du sol.

À savoir, les effets météorologiques (température, direction et vitesse du vent) sont des paramètres majeurs lors de l'étude de la propagation acoustique sur des distances supérieures à 100 m. Dans cette étude, les premiers bâtiments exposés sont situés à une distance inférieure.

6.3.4 Recalage du modèle

L'étape de recalage du modèle numérique consiste à simuler numériquement les niveaux sonores mesurés sur le terrain, tenant compte des différentes hypothèses présentées dans les sections précédentes. Des points de calculs numériques sont donc disposés aux emplacements géographiques (hauteur et position) des relevés sur site. Pour les mesures d'une durée de 24 hr, l'indicateur L_{DN} est utilisé alors que, pour les mesures d'une durée de 1 hr, l'indicateur $L_{Aeq,1\text{ hr,jour}}$ est comparé. Le **Tableau 11** présente les résultats de recalage du modèle en comparant les niveaux mesurés aux niveaux sonores calculés.

Pour certains récepteurs, l'écart entre la mesure et la modélisation est supérieur à 2 dB. Ces écarts peuvent se justifier par un événement singulier durant la mesure qui n'est pas à considérer pour modéliser l'ambiance sonore.

- T3-PP1 (#1): présence d'une tondeuse à proximité pendant l'entièreté durant le relevé;
- T4-PM2 : le trafic routier est inférieur à celui du DMJA, la différence représente environ 0,6 Db;

- T9-PP3 : présence d'une tondeuse à proximité, camion en arrêt durant 10 min avec le moteur tourné et bruit résidence adjacente;
- T10-PM1, T10-PM2 et T10-PM3 : signaux bruyants, modèle de sources routières bonnes, événements ponctuels non modélisables, le niveau L95 cohérent avec la simulation;
- T10-PP2 (#1) : nombreux événements bruyants (alarme, cloche d'église, klaxon, livraison de bloc béton);
- T15-PM1 : arrêt de bus devant la mesure et présence d'un carrefour à 30 m;
- T16-PP1 et T16-PP2 (#1) : mesures réalisées devant un carrefour avec présence de feux tricolores;
- CEE : mesure incohérente, le niveau sonore jour $L_{Aeq,D}$ doit être supérieur à 50,2 dB(A) vu que l'évolution temporelle des mesures est supérieure à 50 dB(A), de plus le $L_{Aeq,D}$ est inférieur à celui du $L_{Aeq,N}$ (50,3 dB(A)).

D'après les résultats du tableau ci-dessous, l'écart moyen entre les niveaux mesurés et les niveaux calculés est de ± 2 dB, le modèle acoustique peut donc être considéré comme recalé. L'impact du projet peut ainsi être calculé via ce modèle.

Tableau 11 : Résultats du recalage du modèle et comparaison entre les mesures et le modèle (en dB(A))

Campagne de mesure	Point de mesure	Adresse	Mesures		Calculs		Écarts	
			L_{DN}	$L_{Aeq,1\text{ hr,jour}}$	L_{DN}	$L_{Aeq,1\text{ hr,jour}}$	L_{DN}	$L_{Aeq,1\text{ hr,jour}}$
1	T3-PM1	691 rue Gingras	56,6	52,6	55,2	52,1	-1,4	-0,5
1	T3-PP1	3560 avenue McCartney	-	68,4	-	58,7	-	-9,7
2	T3-PP1	3560 avenue McCartney	-	54,2	-	53,8	-	0,4
2	T3-PP2	878 boulevard Pie XII	-	48,6	-	47,6	-	1,0
1	T4-PM1	Entre 3419 et 3421 chemin des Quatre-Bourgeois	64,3	62,1	63,1	61,2	-1,2	-0,9
1	T4-PP1	916 boulevard Pie-XII	-	52,9	-	53	-	0,1
1	T4-PM2	3104 chemin des Quatre-Bourgeois	64,9	62,2	67,1	65,5	2,2	3,3
1	T4-PP2	1001 avenue Bégon	-	65,2	-	64,4	-	-0,8
2	T4-PP3	3155 chemin des Quatre-Bourgeois	-	62,4	-	61,7	-	0,7
2	T4-PP4	3017 rue Jacques Amyot	-	64,6	-	65,9	-	-1,3
2	T6-PM1	3094 rue des Châtelets	59,1	57,8	59,0	57,7	0,1	0,1
1	T7-PM1	2591 boulevard Laurier	-	63	-	65,7	-	2,7
1	T7-PP1	1200 avenue Germain-des-Prés	65,5	61,9	71,5	69,9	-	0,3
1	T7-PM2	2407 boulevard Laurier	-	69,6	-	64,4	0,4	2,5
2	T7-PM3	1100 avenue de la Médecine	57,1	55,6	57,4	56,0	-0,3	-0,4
2	T7-PP2	2705 boulevard Laurier	-	57,2	-	57,3	-	-0,1
1	T8-PP1	1002 allée des Gouverneurs	-	59,1	-	58,1	-	-1,0

Campagne de mesure	Point de mesure	Adresse	Mesures		Calculs		Écarts	
			L _{DN}	L _{Aeq,1 hr,jour}	L _{DN}	L _{Aeq,1 hr,jour}	L _{DN}	L _{Aeq,1 hr,jour}
1	T9-PM1	2088 boulevard René-Lévesque Ouest	69,0	66,8	68,7	67,3	-0,3	0,5
1	T9-PM2	370 boulevard René-Lévesque Ouest	69,6	67,7	69,4	68,0	-0,2	0,3
2	T09-PP1	1626 boulevard René-Lévesque	-	68,5	-	68,1	-	0,4
2	T09-PP2	1120 boulevard René-Lévesque Ouest	-	62,1	-	62,5	-	-0,4
1	T9-PP3	945 avenue Belvédère	-	65,1	-	57,4	-	-7,7
2	T10-PM1	102 boulevard René-Lévesque Ouest	65,1	65,1	65,5	54,2	-0,4	0,9
2	T10-PM2	269 boulevard René-Lévesque Ouest	55,9	54,0	56,3	54,7	-0,4	-0,7
2	T10-PM3	900 boulevard René-Lévesque Ouest	58,7	56,0	57,9	56,9	0,8	-0,9
2	T10-PP1	rue D'Youville – Place d'Youville	-	56,5	-	57,1	-	-0,6
1	T10-PP2	450 boulevard Charest Est	-	69,9	-	66,5	-	-3,4
2	T10-PP2	450 boulevard Charest Est	-	66,8	-	65,8	-	-0,6
1	T11-PM1	395 rue du Prince-Édouard	68,5	67,0	67,6	66,2	-0,9	-0,8
1	T12-PP1	330 rue de la Croix-Rouge	-	65,5	-	64,3	-	-1,2
1	T13-PM1	530 1 ^{re} Avenue	65,4	63,0	65,4	64,0	0,0	1,0
1	T13-PP1	545 1 ^{re} Avenue	66,1	64,8	65,4	64,0	-	-0,5
1	T13-PP2	1155 1 ^{re} Avenue	-	64,5	-	63,2	-	-0,3
1	T13-PM3	1585 1 ^{re} Avenue	-	63,5	-	65,0	0,2	0,2
1	T14-PM1	3325 1 ^{re} Avenue	69,4	67,6	69,0	67,4	-0,4	-0,2
1	T14-PM2	56 rue de la Sapinière Dorion Est	-	57,4	-	57,5	-	0,1
1	T14-PP1	2011 1 ^{re} Avenue	-	67,4	-	67,4	-	0,0
2	T14-PP2	2310 1 ^{re} Avenue	-	66,8	-	65,8	-	1
1	T14-PP3	2789 1 ^{re} Avenue	-	65,4	-	65,2	-	-0,2
1	T15-PM1	5140 1 ^{re} Avenue	70,6	68,9	67,6	66,1	-3,0	-2,8
1	T16-PP1	6125 1 ^{re} Avenue	-	68,5	-	65,4	-	-3,1
1	T16-PP2	6630 avenue Isaac Bédard	-	68,5	-	64,1	-	-4,4
2	T16-PP2	6630 avenue Isaac Bédard	61,2	61	61,6	61,1	-0,4	-0,1
1	T17-PM1	7474 boulevard Henri-Bourassa	70,6	67,8	69,5	68,1	-1,1	0,3
2	St Roch	390 rue Chalutier	-	57,2	-	57,2	-	0
2	CEE	230 rue Sapinière Dorion Ouest	56,7	50,2	59,1	58,2	-2,4	-8

Les paramètres du modèle ayant permis le recalage sont les suivants :

- Absorption du sol : 0,4
- Ordre de réflexion des rayons : 3
- Absorption des façades des bâtiments : 0,2

6.3.5 Résultats de calcul

Les résultats de la modélisation de l'ambiance sonore existante le long du futur tracé du tramway de Québec, sont présentés sous forme de cartographies de bruit (**Figure 18** à **Figure 51**) suivant les indicateurs L_D et L_N . Le découpage des cartographies suit les sections présentées en **Figure 16** et **Figure 17**. La période diurne est comprise entre 7 h et 22 h, soit une durée de 15 hr, et la période nocturne est comprise entre 22 h et 7 h, soit une durée de 9 hr. Les cartographies sont calculées à partir des hypothèses prises en comptes pour recaler le modèle.

Les cartographies représentent le niveau acoustique à une hauteur de 4 m par rapport au sol, correspondant au niveau du 1^{er} étage d'un bâtiment. Cette hauteur est une recommandation formulée pour l'établissement de cartes de bruit stratégiques en milieu urbain dans le cas d'infrastructures de transports terrestres. [21][22]

Une cartographie permet de qualifier l'ambiance sonore d'une zone délimitée selon les termes « calme », « modérée » ou « bruyante » en fonction du niveau de bruit et du moment de la journée. Une zone est considérée comme :

- **Calme** si le niveau de bruit résiduel, toutes sources confondues, existant à 2 mètres en avant des façades des bâtiments est tel que $L_{Aeq,jour}$ (7 h – 22 h) est inférieur à 55 dB(A) et $L_{Aeq,nuit}$ (22 h – 7 h) est inférieur à 50 dB(A);
- **Modérée** si le niveau de bruit résiduel, toutes sources confondues, existant à 2 mètres en avant des façades des bâtiments est tel que $L_{Aeq,jour}$ (7 h – 22 h) est inférieur à 65 dB(A) et $L_{Aeq,nuit}$ (22 h – 7 h) est inférieur à 60 dB(A);
- **Bruyante** si le niveau de bruit résiduel, toutes sources confondues, existant à 2 mètres en avant des façades des bâtiments est tel que $L_{Aeq,jour}$ (7 h – 22 h) est supérieur à 65 dB(A) et $L_{Aeq,nuit}$ (22 h – 7 h) est supérieur à 60 dB(A).

Le **Tableau 12** résume les différents types de zones selon la période de la journée et du niveau de bruit ambiant.

Tableau 12 : Définition des ambiances sonores selon le niveau de bruit résiduel

Bruit résiduel existant (toutes sources confondues)		Type d'ambiance sonore
$L_{Aeq,jour}$ (7 h – 22 h)	$L_{Aeq,nuit}$ (22 h – 7 h)	
< 55	< 50	Calme
< 65	< 60	Modérée
≥ 65	≥ 60	Bruyante



À partir de ces cartographies, la localisation des différentes ambiances sonores existantes est effectuée.

Les résultats indiquent que l’ambiance sonore existante, en période de jour, peut être considérée comme globalement bruyante le long du projet.

En période nocturne, l’ambiance sonore est considérée comme modérée le long du projet à l’exception des zones proches des voies rapides où le niveau de bruit est globalement élevé.

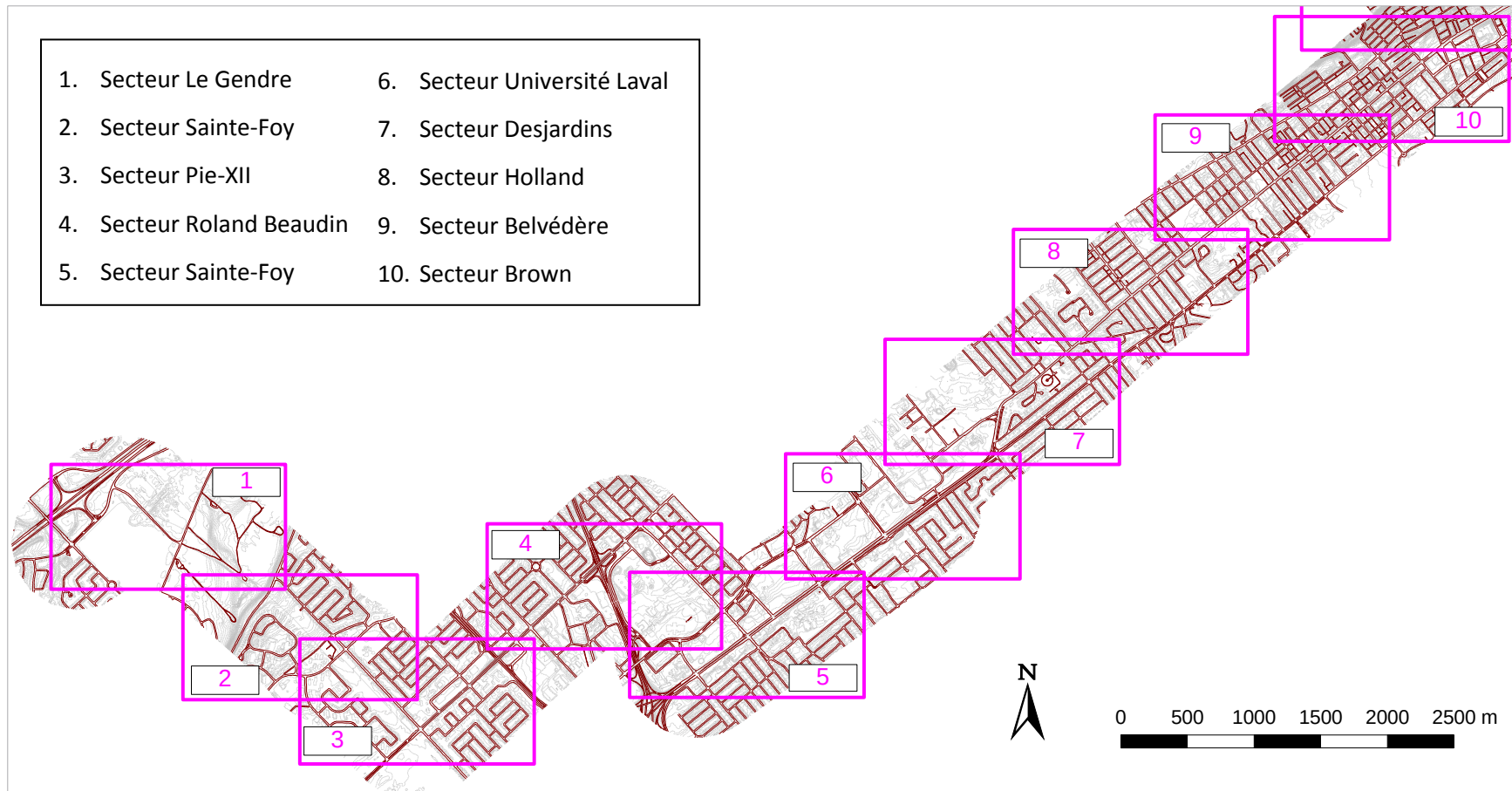


Figure 16 : Calepinage des planches de cartographie de bruit 1/2

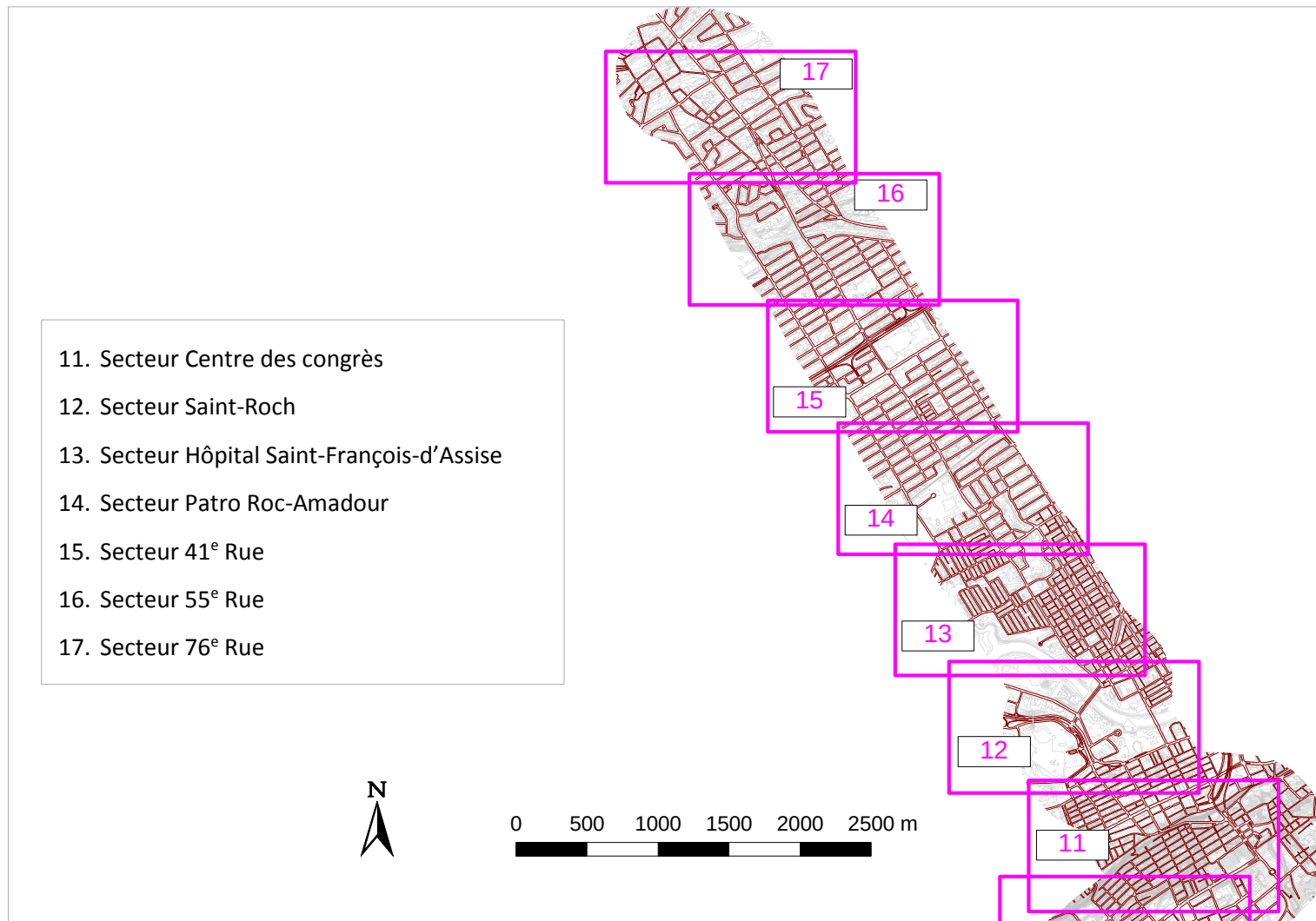


Figure 17 : Calepinage des planches de cartographie de bruit 2/2

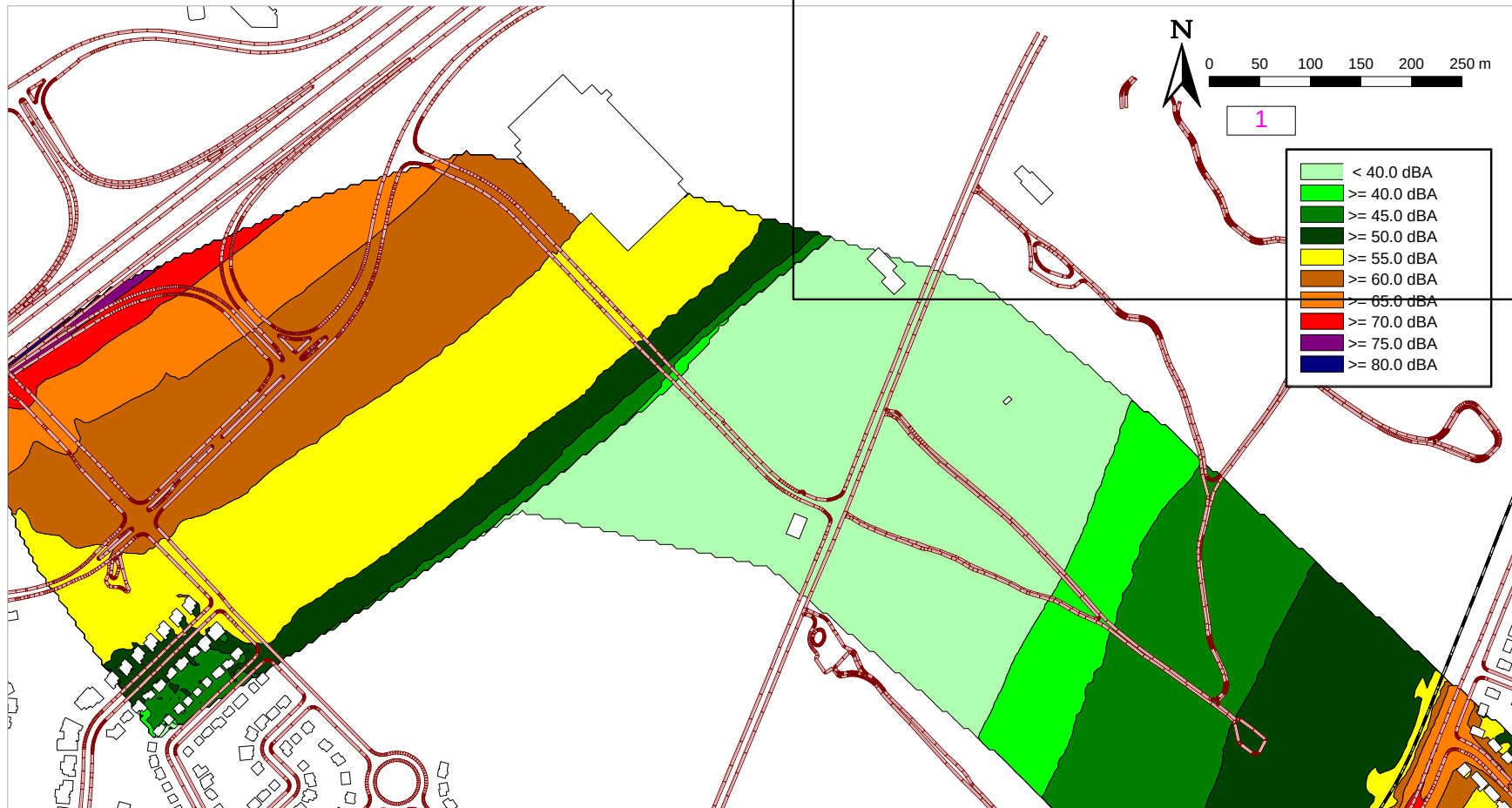


Figure 18 : Cartographie de bruit – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 19 : Cartographie de bruit – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 20 : Cartographie de bruit – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 21 : Cartographie de bruit – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

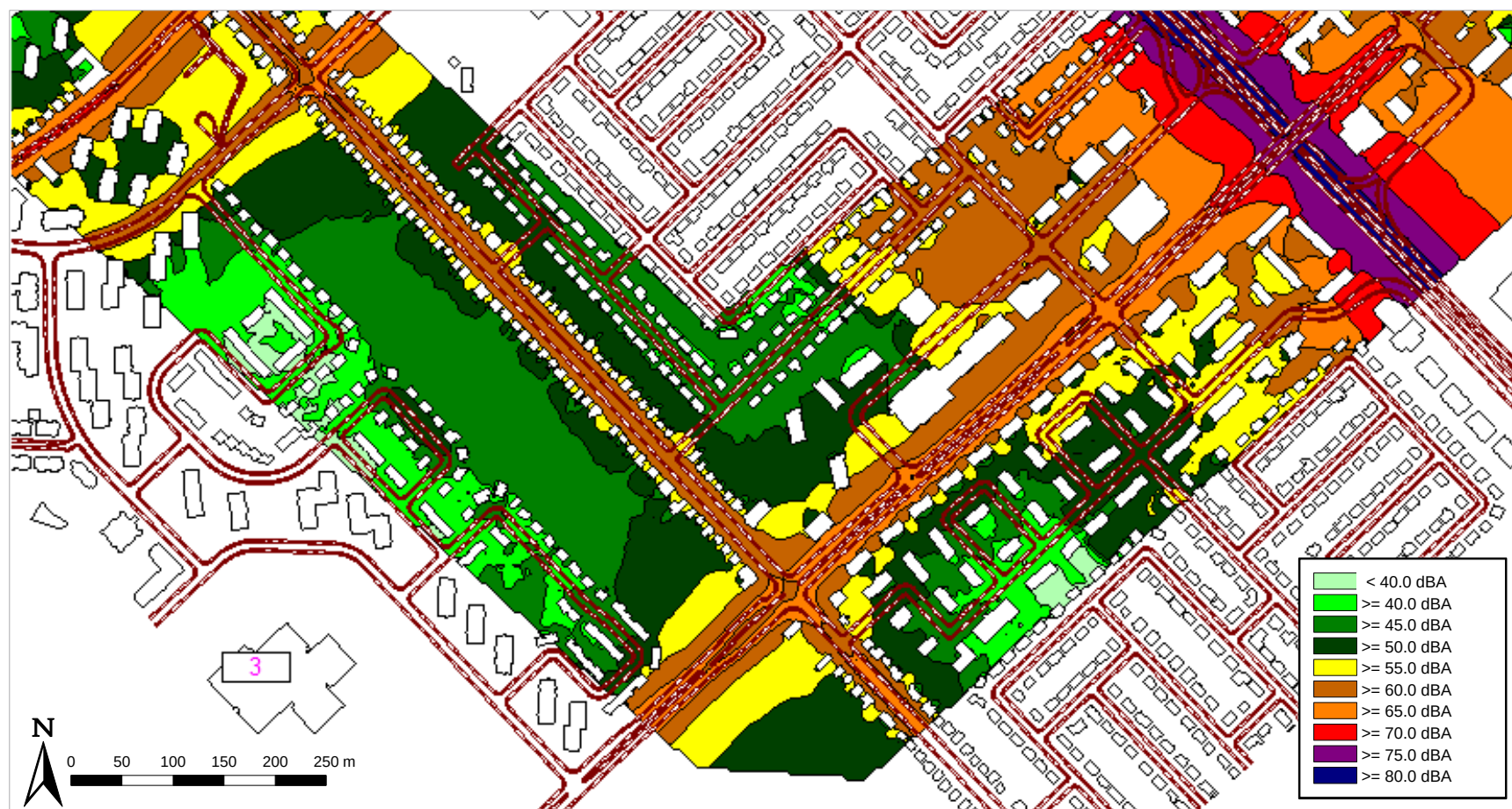


Figure 22 : Cartographie de bruit – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

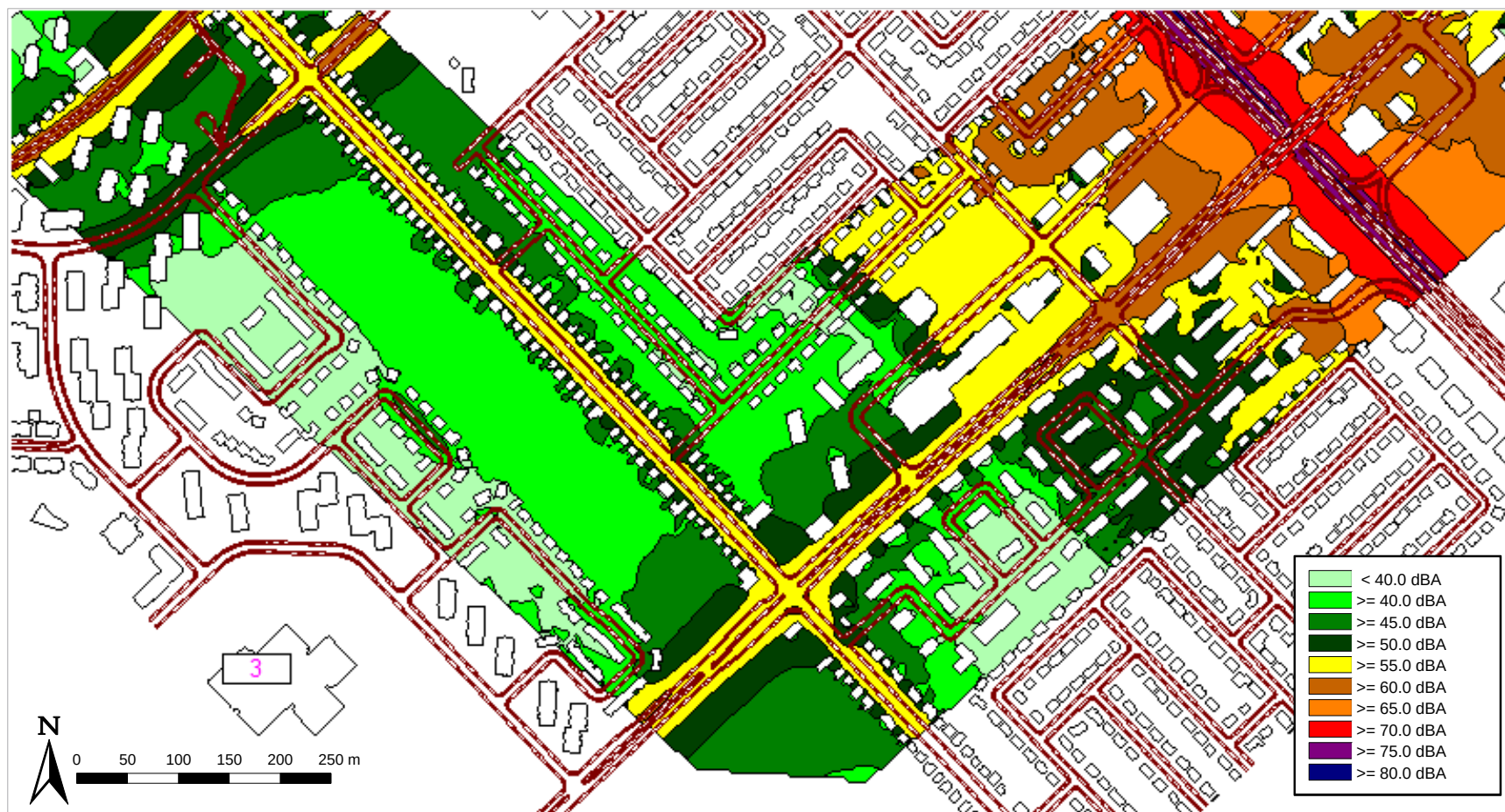


Figure 23 : Cartographie de bruit – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

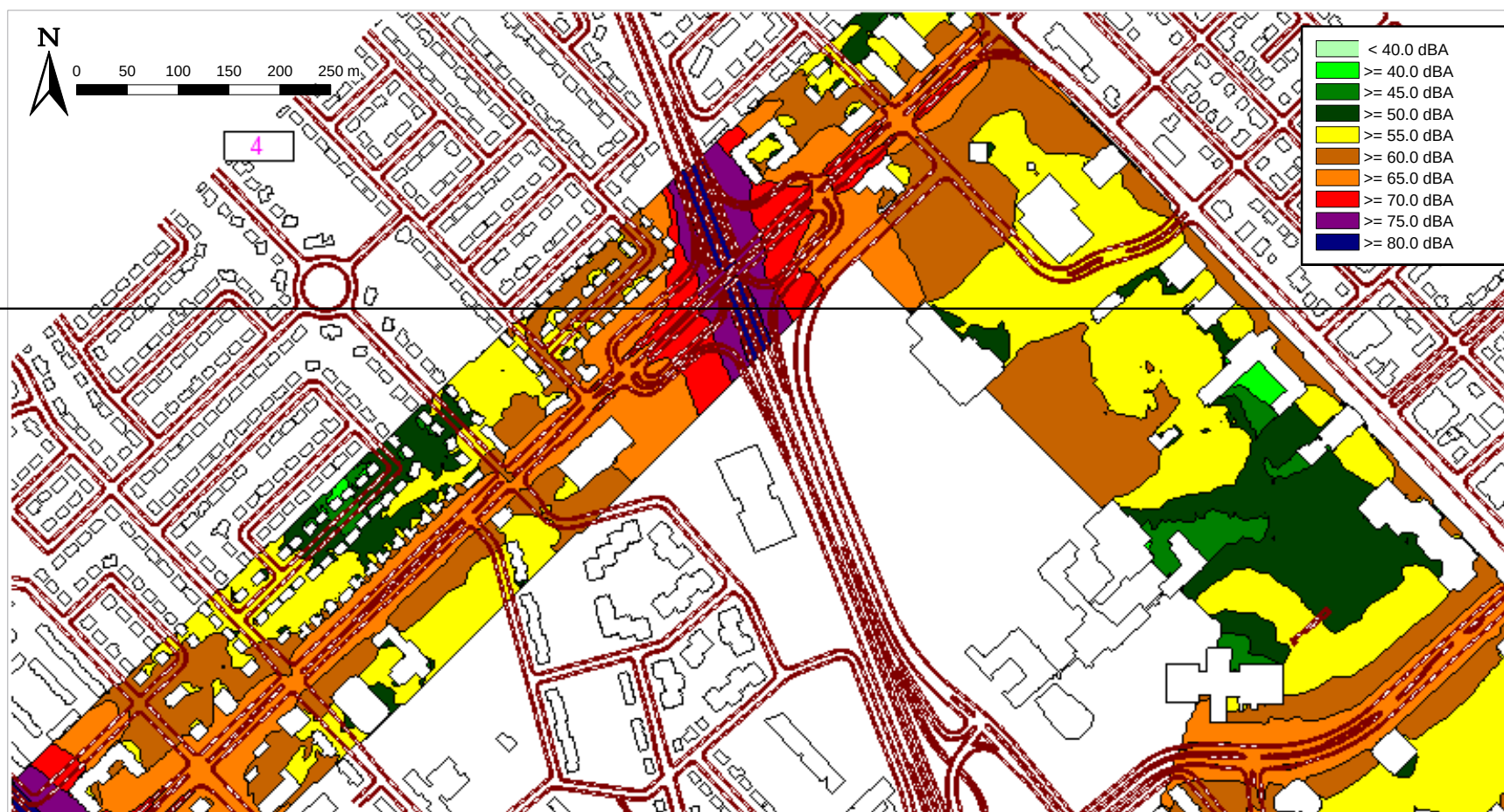


Figure 24 : Cartographie de bruit – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

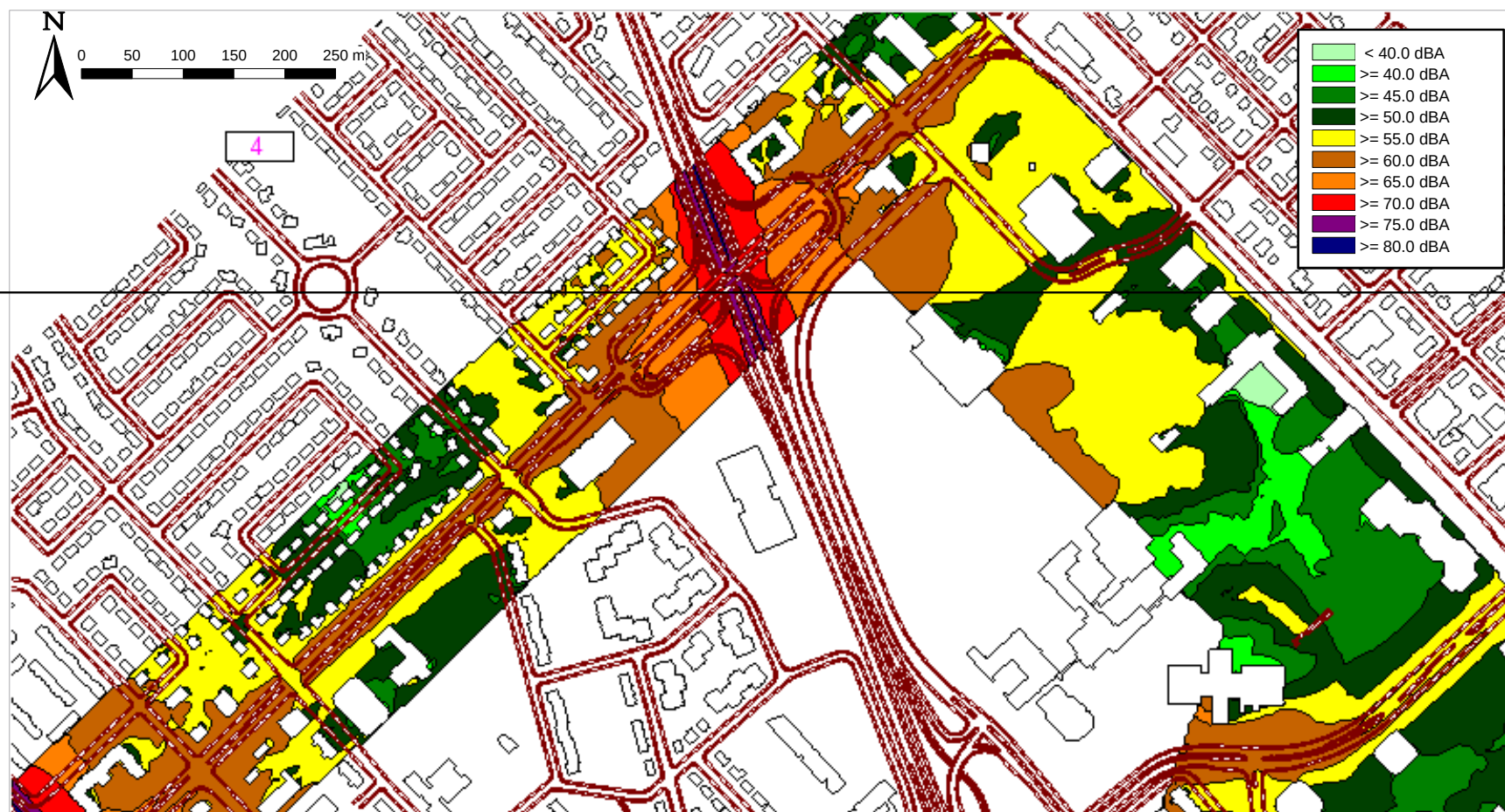


Figure 25 : Cartographie de bruit – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 26 : Cartographie de bruit – Secteur Sainte-Foy– Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 27 : Cartographie de bruit – Secteur Sainte-Foy– Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 28 : Cartographie de bruit – Secteur Université Laval – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 29 : Cartographie de bruit – Secteur Université Laval – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

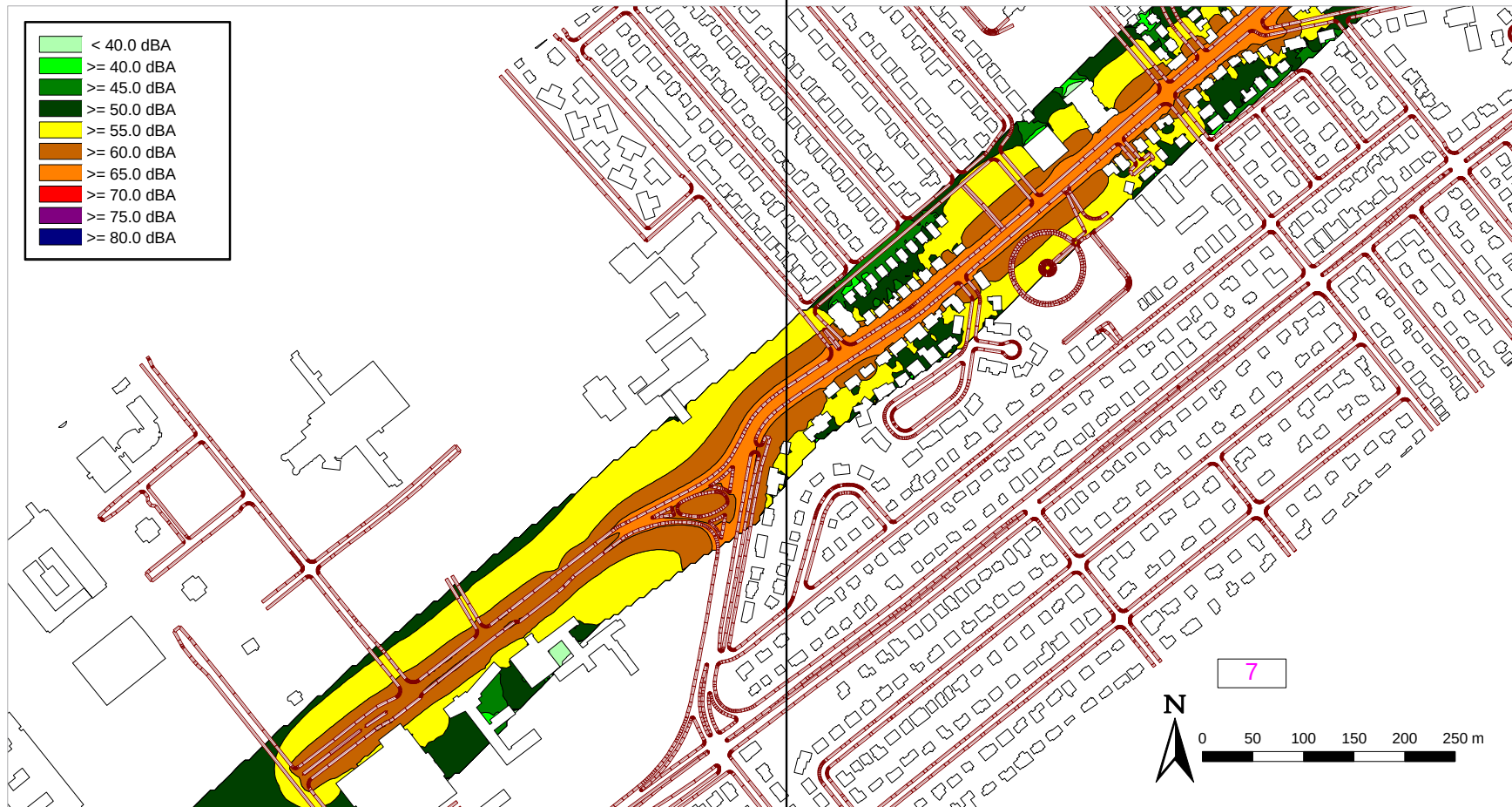


Figure 30 : Cartographie de bruit – Secteur Desjardins – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°



Figure 31 : Cartographie de bruit – Secteur Desjardins – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°



Figure 32 : Cartographie de bruit – Secteur Holland – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

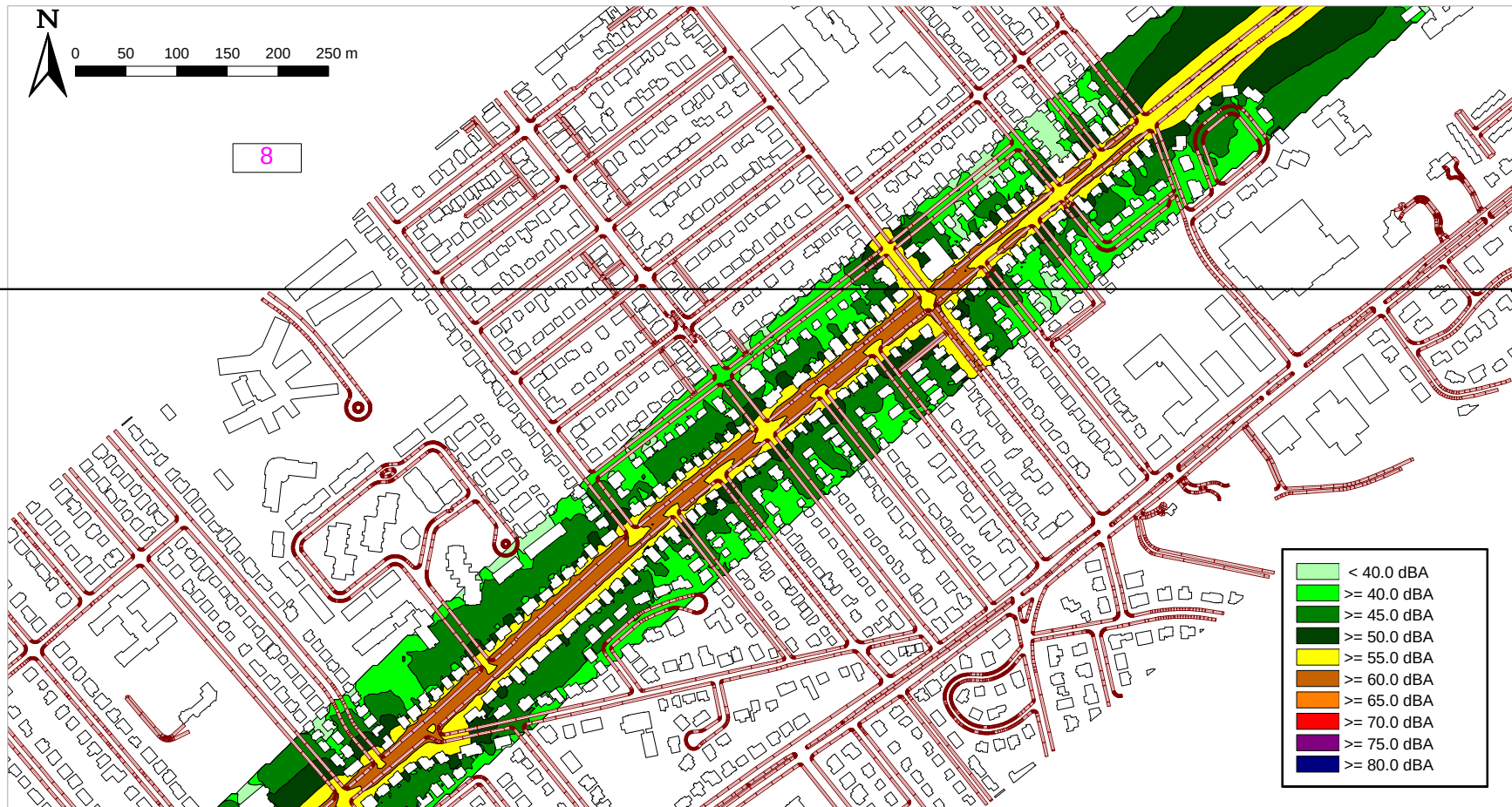


Figure 33 : Cartographie de bruit – Secteur Holland – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°



Figure 34 : Cartographie de bruit – Secteur Belvédère – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 35 : Cartographie de bruit – Secteur Belvédère – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°



Figure 36 : Cartographie de bruit – Secteur Brown – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

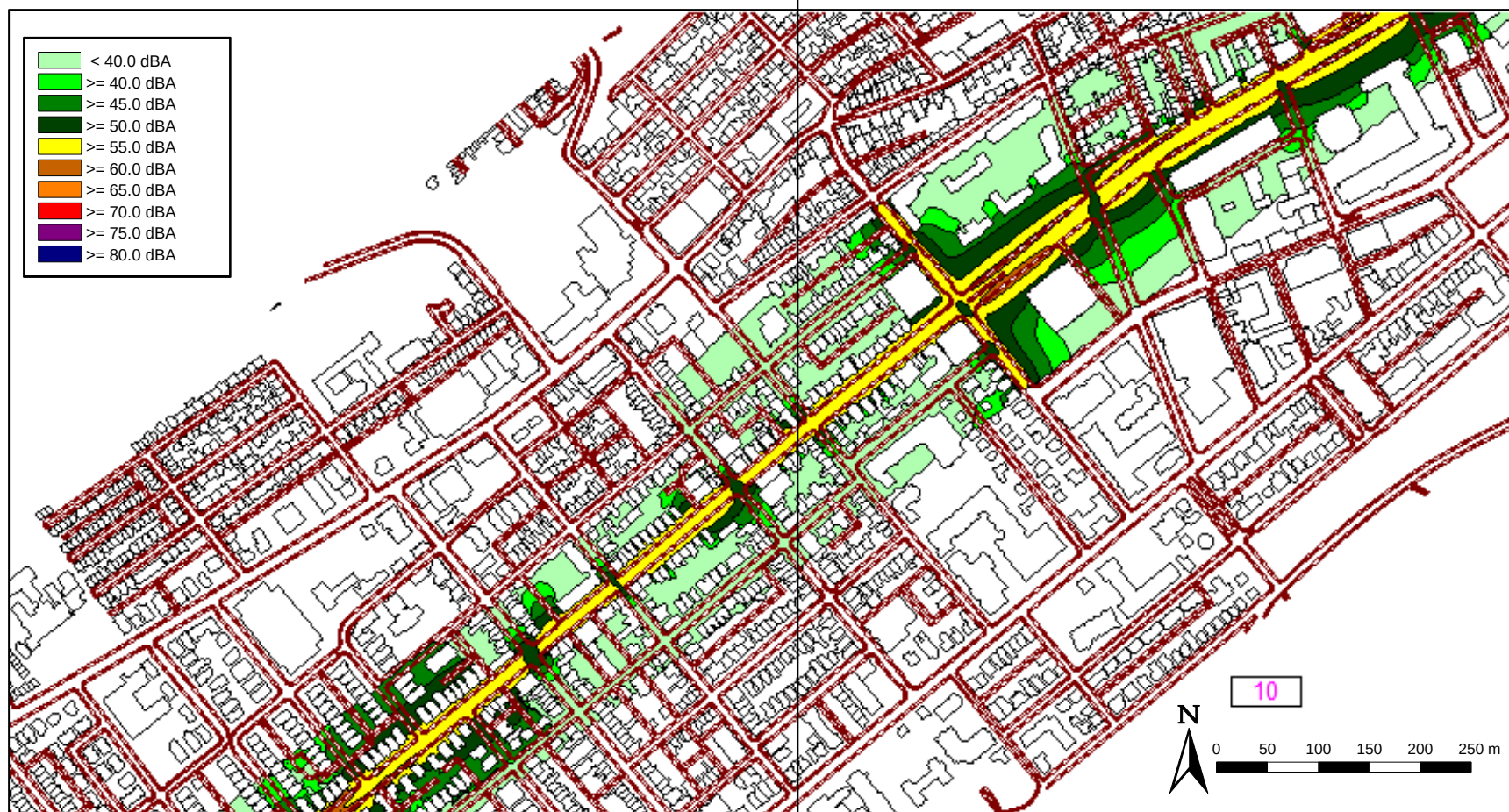


Figure 37 : Cartographie de bruit – Secteur Brown – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 38 : Cartographie de bruit – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 39 : Cartographie de bruit – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

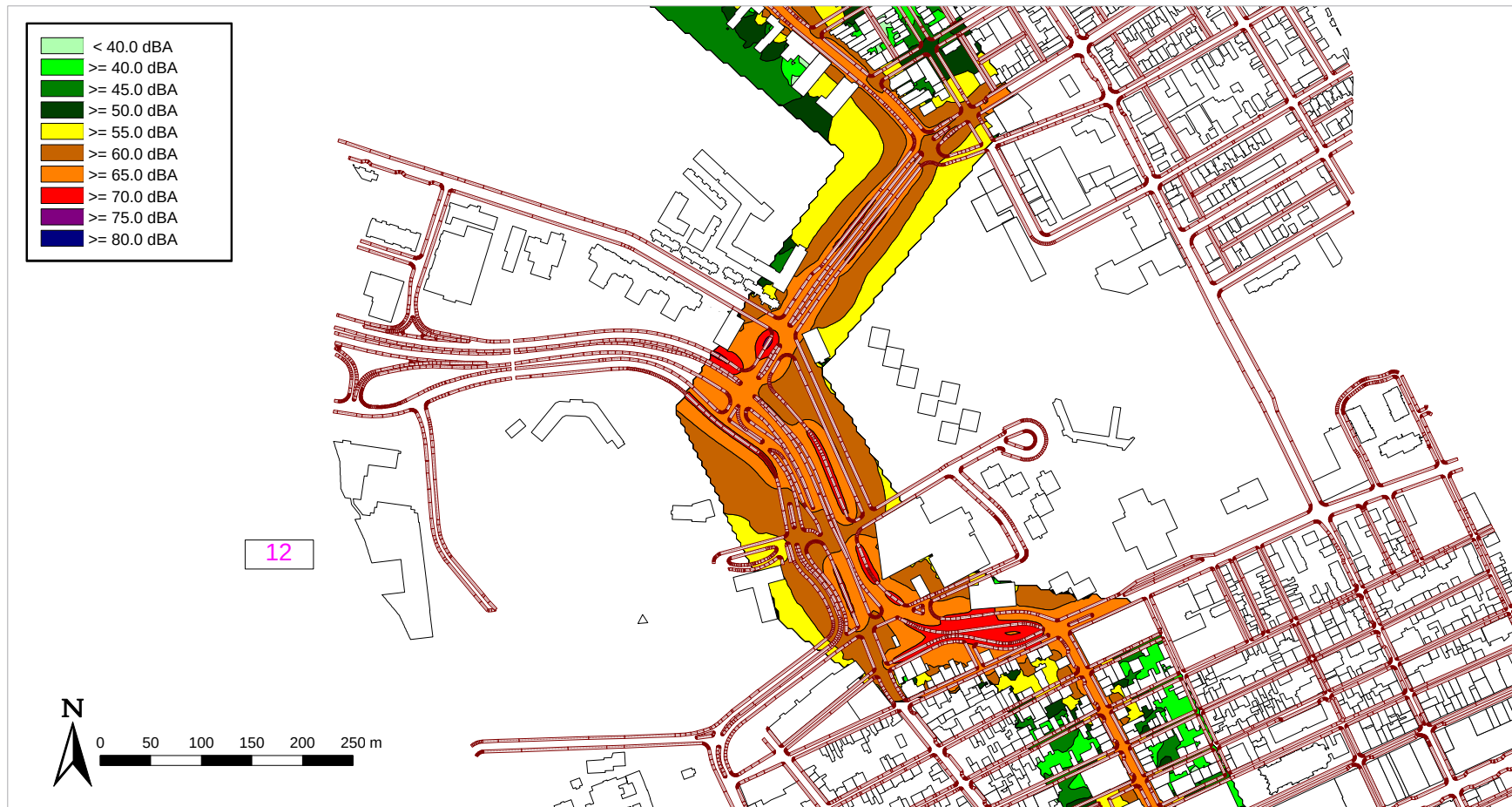


Figure 40 : Cartographie de bruit – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

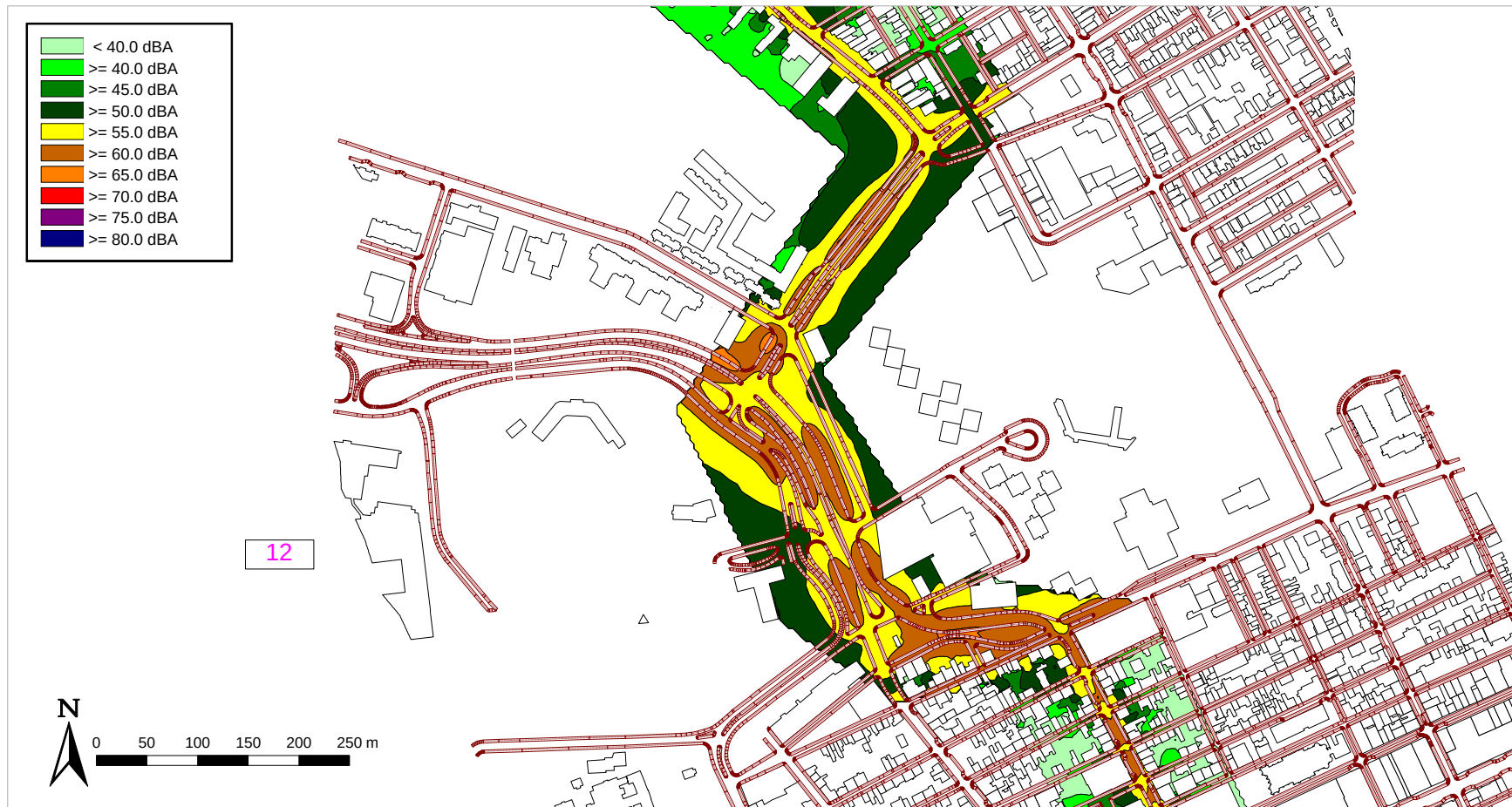


Figure 41 : Cartographie de bruit – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 42 : Cartographie de bruit – Secteur Hôpital St-François-d'Assise – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 43 : Cartographie de bruit – Secteur Hôpital St-François d'Assise – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

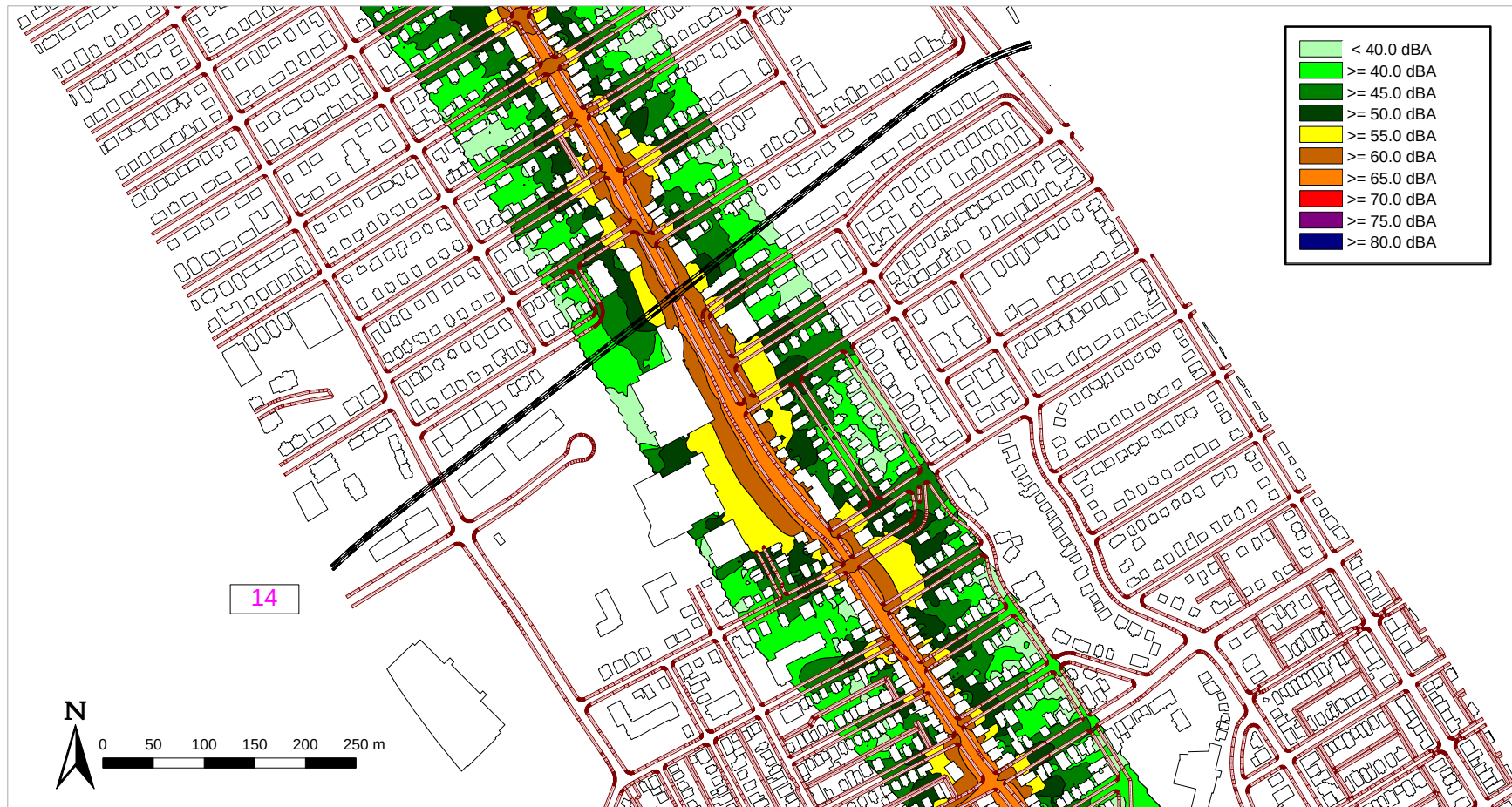


Figure 44 : Cartographie de bruit – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

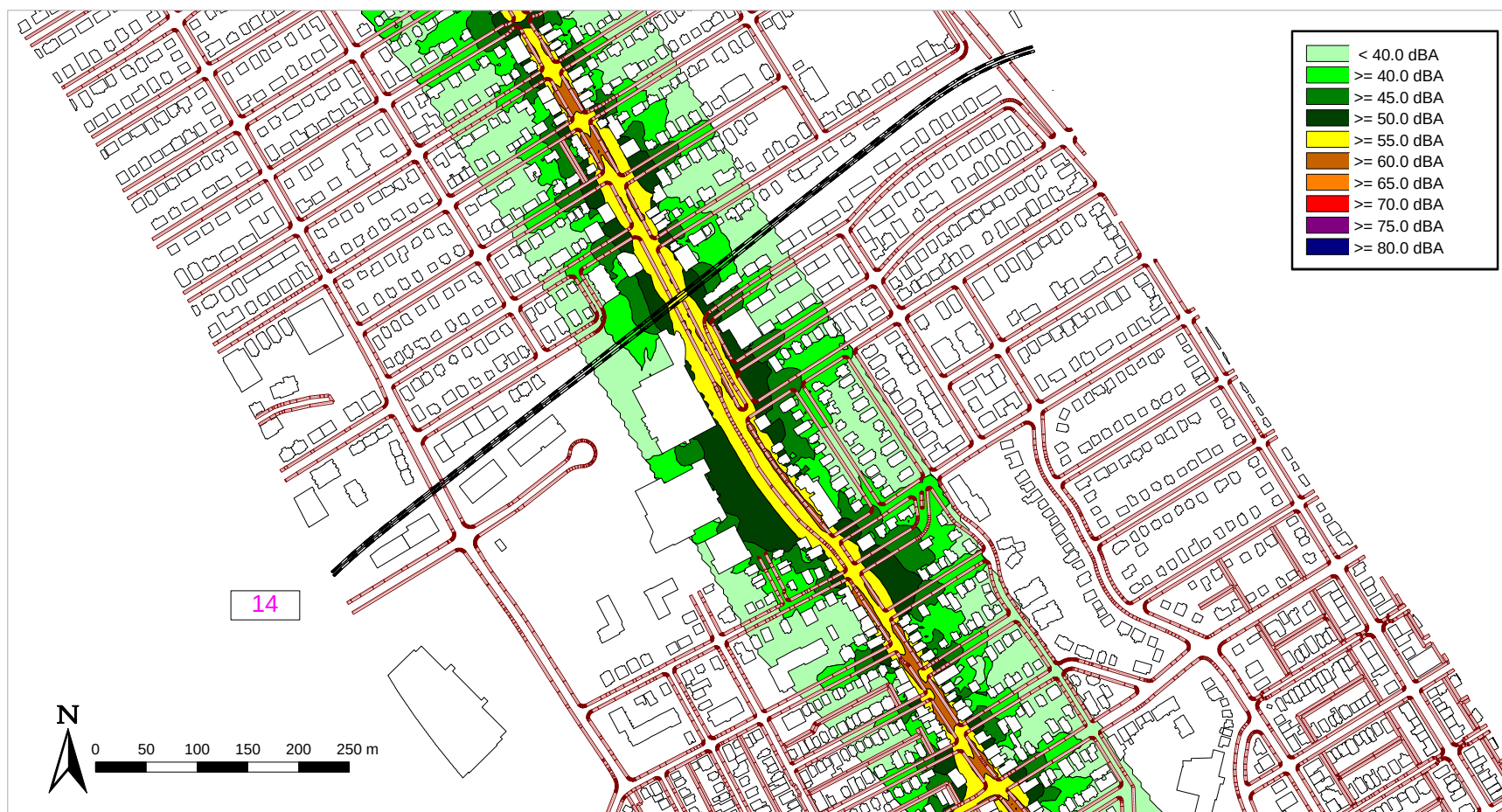


Figure 45 : Cartographie de bruit – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 46 : Cartographie de bruit – Secteur 41^e Rue – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 47 : Cartographie de bruit – Secteur 41^e Rue – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 48 : Cartographie de bruit – Secteur 55^e Rue – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

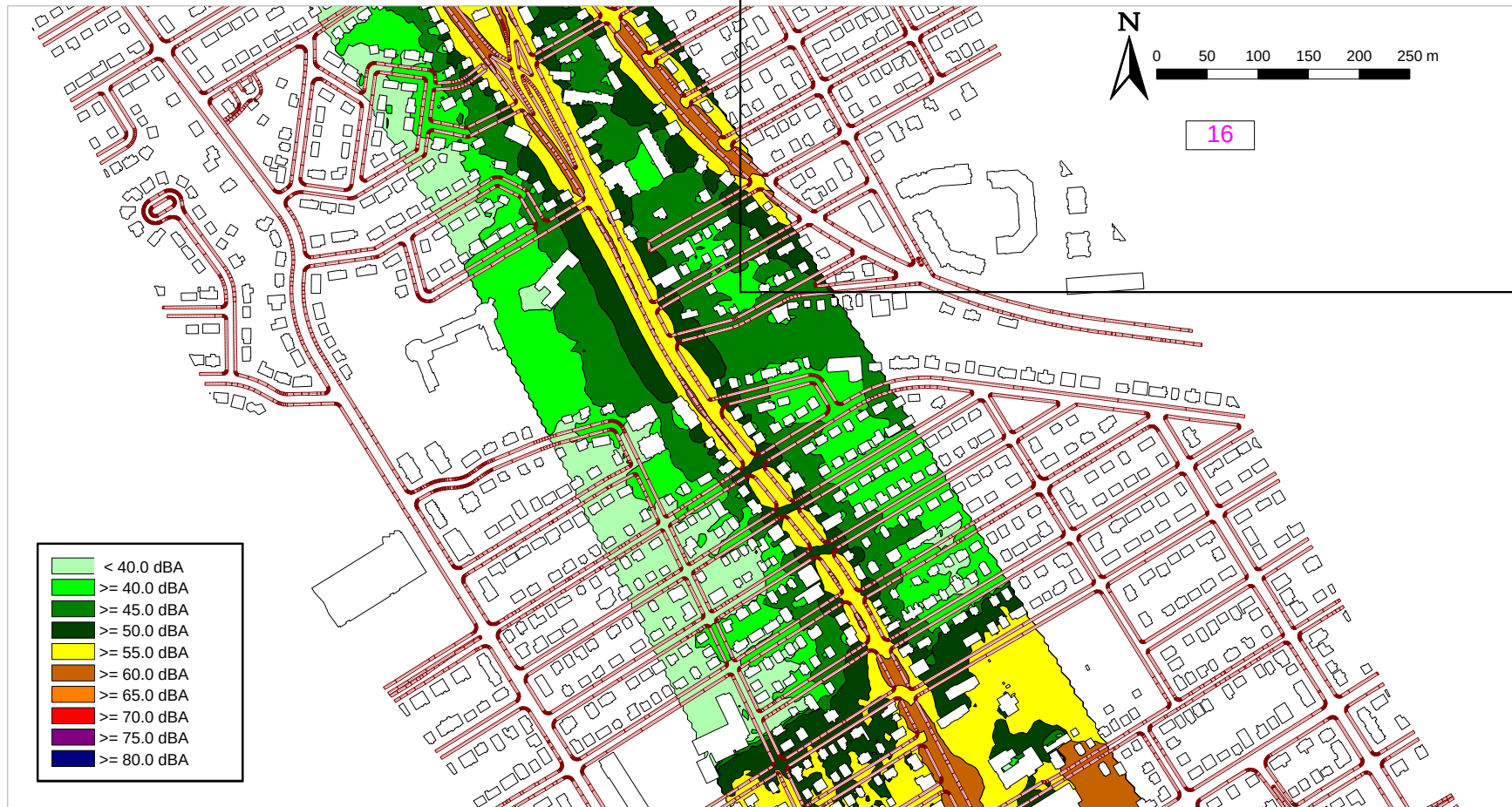


Figure 49 : Cartographie de bruit – Secteur 55^e Rue – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 50 : Cartographie de bruit – Secteur 76^e Rue – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

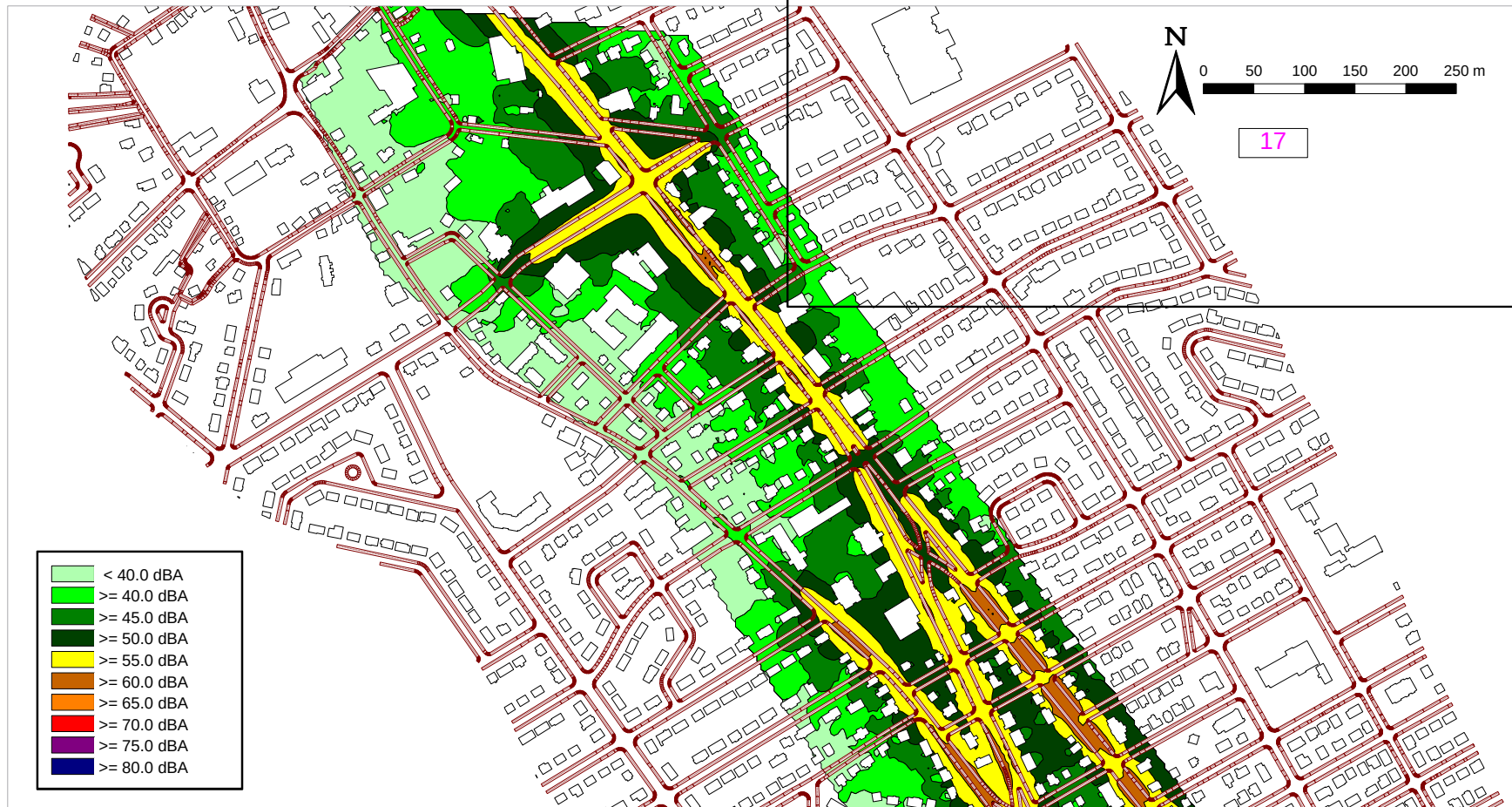


Figure 51 : Cartographie de bruit – Secteur 76^e Rue – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

6.4 IDENTIFICATION DES ZONES À ENJEUX

Une étude d'identification des zones à enjeux a été réalisée afin d'évaluer l'ambiance sonore existante et les risques d'impact du projet vis-à-vis des sites sensibles.

Le tableau suivant présente les critères de hiérarchisation des enjeux.

Tableau 13 : Critères d'identification des secteurs à enjeux

Niveau d'enjeu	Critères
FORT	Ambiance calme Bâtiments très sensibles à proximité
MODÉRÉ	Ambiance sonore préexistante modérée Bâtiments sensibles à proximité
FAIBLE	Ambiance sonore préexistante bruyante Pas de bâtiments sensibles à proximité

Le tableau suivant présente les enjeux acoustiques de chaque secteur du projet. Celui-ci met en évidence la diversité des enjeux et des ambiances sonores préexistantes le long du projet.

Tableau 14 : Identification des niveaux d'enjeu acoustique de chaque section du projet

Secteur	Ambiance sonore préexistante	Tramway en surface ou souterrain	Bâtiments sensibles à proximité ⁽¹⁾	Enjeu
Le Gendre (1)*	Modérée	Surface	L	
Sainte-Foy (2)	Calme	Surface	L	
Pie-XII (3)	Calme	Surface	L	
Roland-Beaudin (4)	Calme	Surface	L+S+E	
Sainte-Foy Ouest (5)	Modérée à Bruyante	Souterrain	L+S+E	
Université Laval (6)	Modérée	Surface	L+S+E	
Desjardins (7)	Modérée	Surface	L+E+R	
Holland (8)	Modérée à Bruyante	Surface	L+S	
Belvédère (9)	Modérée à Bruyante	Surface	L+S+E+R	
Brown (10)	Modérée à Bruyante	Surface	L+R	
Centre-des-congrès (11)	Bruyante	Souterrain	L+E+R+SdC	
Saint-Roch (12)	Bruyante	Surface	L	

Secteur	Ambiance sonore préexistante	Tramway en surface ou souterrain	Bâtiments sensibles à proximité ⁽¹⁾	Enjeu
Hôpital Saint François d'Assise (13)	Calme	Surface	L+S+R	
Patro Roc-Amadour (14)	Bruyante	Surface	L	
41 ^e Rue (15)	Bruyante	Surface	L	
55 ^e Rue (16)	Modérée à Bruyante	Surface	L+E+R	
76 ^e Rue (17)	Modérée à Bruyante	Surface	L+S	

(1) L : Logements, S : Établissement de santé, E : Établissement d'enseignement, R : Bâtiment ou terrain dédié à la religion, A : Administration/Institution, SdC : Salle de Concert

* Pour la définition complète des secteurs voir les figures 16 et 17.

La présence de plusieurs zones à enjeux modérés ou forts le long du projet est principalement due à la présence de bâtiments sensibles dans des zones relativement calmes.

Les tronçons en souterrain permettent de limiter les enjeux, bien que les sources fixes (équipements de climatisation, de ventilation, de désenfumage, et gaines ou puits de décompression) devront faire l'objet d'une étude approfondie et des traitements antibruit devront très probablement être envisagés. Par ailleurs, la présence d'une salle de concert (Grand Théâtre de Québec) à proximité immédiate du tunnel requiert une attention particulière vis-à-vis de l'impact acoustique des sources fixes situées aux abords de la station Grand Théâtre.

7. CARACTÉRISATION DE L'AMBIANCE SONORE EN EXPLOITATION POUR LES SECTIONS EN SURFACE

7.1 HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION POUR LA SOURCE TRAMWAY

À ce stade du projet, différentes hypothèses ont été proposées et validées par la Ville de Québec afin de pouvoir modéliser et calculer l'ambiance sonore lors de l'exploitation du tramway.

L'hypothèse du tracé de la ligne du tramway a été communiquée par la Ville de Québec.

Dans la suite du document, on précise les hypothèses concernant les sources sonores du modèle acoustique du tramway de Québec (projet RSTC), à savoir :

- Le spectre d'émission sonore du matériel roulant du projet RSTC;
- Le profil simplifié de vitesse du véhicule le long du parcours, utilisé pour ajuster le niveau d'émissions sonores;
- Les données de trafic du tramway.

7.1.1 Données d'émission sonore du tramway

1) Puissance acoustique :

Les caractéristiques acoustiques du matériel roulant projeté n'ayant pas encore été fixées, cette étude acoustique a été réalisée en se basant sur l'hypothèse suivante :

- le spectre de puissance acoustique proposé pour l'étude est déterminé en se basant sur une revue des données d'émission sonore de tramways récents contenues dans la base de données de SYSTRA. Ce travail vient compléter l'étude bibliographique menée dans [8] qui a permis d'anticiper les niveaux de bruit au passage en fonction des données préliminaires existantes sur le type de tramway utilisé et les infrastructures qui seront mises en place.

L'objectif est de déterminer un spectre de puissance acoustique du matériel roulant qui sera injecté dans le modèle CadnaA, en utilisant le principe de description des sources de véhicules ferroviaires selon la méthode NMPB 2008. Ce modèle de sources est décrit ci-après :

Les données à pourvoir sont les spectres de niveau de puissance acoustique pour les différentes sources du modèle NMPB 2008, aux différentes vitesses (à minima 20 km/h, 30 km/h et 50 km/h), et pour les bandes de tiers d'octave de 100 à 5000 Hz.

Ainsi, un spectre de niveau de bruit au passage représentatif d'un tramway récent a été retenu.

Les niveaux de puissance acoustiques utilisés pour le modèle de calcul sont obtenus à partir d'un recalage de deux sources linéiques (à 0,5 m de hauteur et à 4 m de hauteur) sur le spectre de niveau de pression au passage retenu.

La figure suivante présente le schéma de principe de modélisation acoustique d'une source tramway selon la méthode NMPB08.

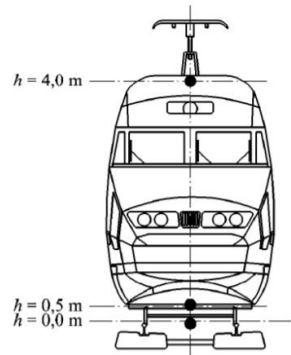


Figure S2 : Position des sources acoustiques équivalentes selon la norme NMPB 2008

Le tableau suivant présente le niveau de bruit au passage retenu pour la modélisation pour différents revêtements de sol.

Il convient de préciser qu'il s'agit du spectre au passage médian de la base de données de mesure de Systra. Ainsi, le spectre de tramway retenu pour le calcul d'impact correspond à une hypothèse modérément conservatrice.

Il s'agit de bruit au passage $L_{pAeq,Tp}$ mesuré selon la norme ISO 3095:2013 à une vitesse de 40 km/h (**Tableau 15**). Les niveaux présentés dans ce tableau ont été mesurés pour des rails entretenus. Dans le cas où un rail n'est pas entretenu (rugosité importante), l'impact sonore lié au passage d'un tramway sera plus important.

Tableau 15 : Spectre de niveau de pression acoustique au passage retenu pour l'étude d'impact

Plateforme	Niveau mesuré $L_{pAeq,Tp}$ (dB(A)) (40 km/h)
Béton, voie souple	78
Ballast, voie classique	76
Gazon, voie classique	74

- 76 dB(A) pour un revêtement ballast (voie classique);
- 78 dB(A) pour un revêtement réfléchissant à 40 km/h (voie souple ou classique);
- 74 dB(A) pour un revêtement gazonné (voie souple ou classique).

Ce jeu de valeurs est modérément conservateur. Comme dit précédemment, il suppose que les rails sont dans un état d'entretien courant. Il est possible d'allouer un niveau de puissance acoustique inférieur, à la condition qu'un programme d'entretien régulier des rails soit envisagé (non conseillé à ce stade).

2) Prise en compte de l'effet des sources en toiture :

Les sources de bruit dominantes sont généralement près du sol. Il s'agit des sources de bruit de roulement, des moteurs de traction et des boîtes à engrenages (*gear-box*). Toutefois, nous constatons sur plusieurs jeux de données de mesure, que le niveau de bruit mesuré à 3,5 m de hauteur est comparable voire

dépasse de 1 dB le niveau de bruit mesuré à une hauteur de 1,2 m. Ce constat est pris en compte dans le modèle en allouant un niveau de puissance acoustique d'environ un tiers de la puissance acoustique totale à la source en hauteur (hauteur : 4 m – voir **Figure 52**).

3) Passage en courbe :

Un facteur de correction est introduit dans le cas d'un virage serré, lié à la génération d'un bruit de crissement. Ce bruit de crissement peut être plus ou moins important selon le rayon de courbure du virage. Le bruit de crissement peut augmenter le niveau sonore jusqu'à 20 dB [7]. Le bruit de crissement apparaît lorsque le rayon de courbure est inférieur à 500 m et le risque augmente pour un rayon inférieur à 300 m. À ce stade d'étude, les rayons de courbure ne sont pas encore fixés, on considèrera uniquement les rayons de courbure inférieurs à 100 m et d'après le rapport CNOSSOS-EU de la Commission européenne [14], un facteur aggravant +8 dB doit être appliqué pour les rayons de courbures inférieurs à 300 m sur une distance de 50 m de part et d'autre de la courbe. Dans la situation où l'impact sonore du projet est amplifié par les rayons de courbure, un système anti-crissement est implémenté de sorte à minimiser le risque d'occurrence du bruit de crissement. Toutefois, pour tenir compte de la hausse des niveaux de bruit dans les courbes (dû aux autres composantes sonores que le bruit de crissement), il est envisagé d'appliquer un facteur aggravant de +3 dB au lieu de +8 dB.

4) Gabarit spectral :

Les propriétés d'absorption acoustique des matériaux de revêtements (bitume, ballast, gazon) et les phénomènes de diffraction acoustique des écrans étant dépendants de la fréquence, il est décidé de décrire les sources sonores par un spectre de niveaux de bruit par bandes de tiers d'octave. La **Figure 53** représente un spectre de niveau de bruit au passage ($L_{pAeq,Tp}$) d'un tramway à 40 km/h à 7,5 m de l'axe de la voie, pour un revêtement de type ballast. Il est proposé de retenir la même forme spectrale pour le spectre de puissance acoustique, quelle que soit la vitesse simulée.

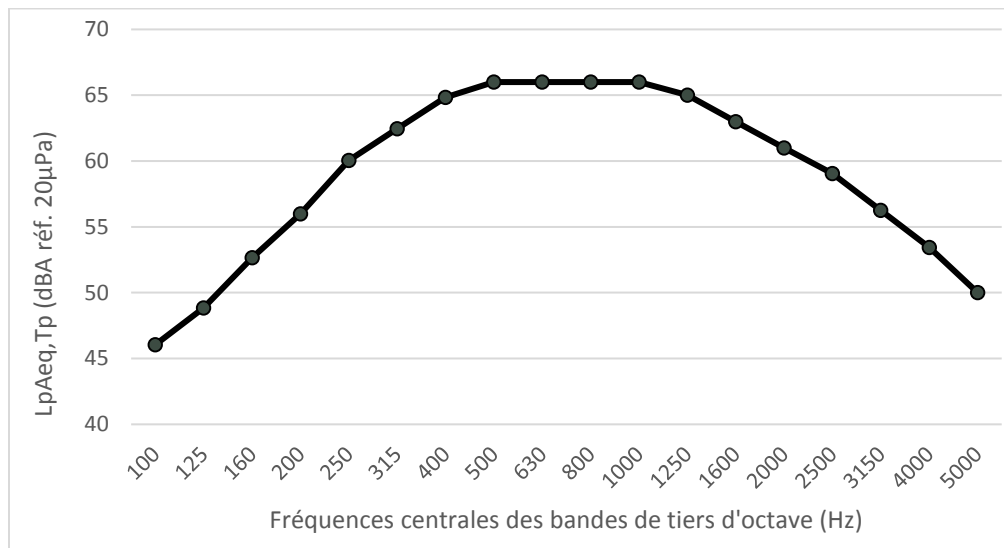


Figure 53 : Spectre typique (gabarit) de niveau de bruit au passage ($L_{pAeq,Tp}$) d'un tramway à 40 km/h à 7,5 m de l'axe de la voie

Les niveaux de puissance acoustique permettant de reproduire à l'aide du modèle CadnaA le spectre de niveau de bruit au passage à 40 km/h sur la **Figure 53** figurent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 16 : Spectre de puissance acoustique du spectre de gabarit tramway présenté en figure précédente

Fréquence (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L_{WA} dB(A)	79,5	84,0	83,5	84,5	90,5	94,0	96,5	97,0	101,0	98,0	98,0	96,0	91,5	91,0	94,0	92,0	87,0	83,0

7.1.2 Données de trafic

L'amplitude horaire journalière de l'exploitation du tramway est de 5 h à 1 h soit 20 hr de service.

Dans cette étude, une journée comprend deux périodes : le jour (7 h à 22 h) et la nuit (22 h à 7 h).

En période de pointe, la fréquence des tramways est de 4 min entre l'arrêt Le Gendre et Pôle Saint-Roch, et de 8 min entre l'arrêt du Pôle Saint-Roch et la 76^e Rue. Les périodes de pointe sont durant les horaires 7 h à 9 h et 15 h à 18 h. En dehors de ces périodes, la fréquence des tramways est identique sur la totalité de la ligne. Le **Tableau 17** résume les fréquences de tramway le long de la ligne pour une journée.

Tableau 17 : Récapitulatif des fréquences de tramway pour une journée

Heures	Ligne complète	Secteur A (Le Gendre/Saint-Roch)	Secteur B (Saint-Roch/76 ^e Rue)
5 h à 6 h	12 min		
6 h à 7 h	8 min		
7 h à 9 h		4 min	8 min
9 h à 15 h	10 min		
15 h à 18 h		4 min	8 min
18 h à 20 h	8 min		
20 h à 22 h	10 min		
22 h à 1 h	12 min		

7.1.3 Profil de vitesses

Le profil de vitesse du tramway n'est pas identique le long du tracé de la ligne de tramway. La vitesse maximale d'exploitation est 70 km/h et la vitesse minimale est 30 km/h. Cependant, selon le tronçon la vitesse maximale varie comme l'illustre la **Figure 54** ci-dessous.

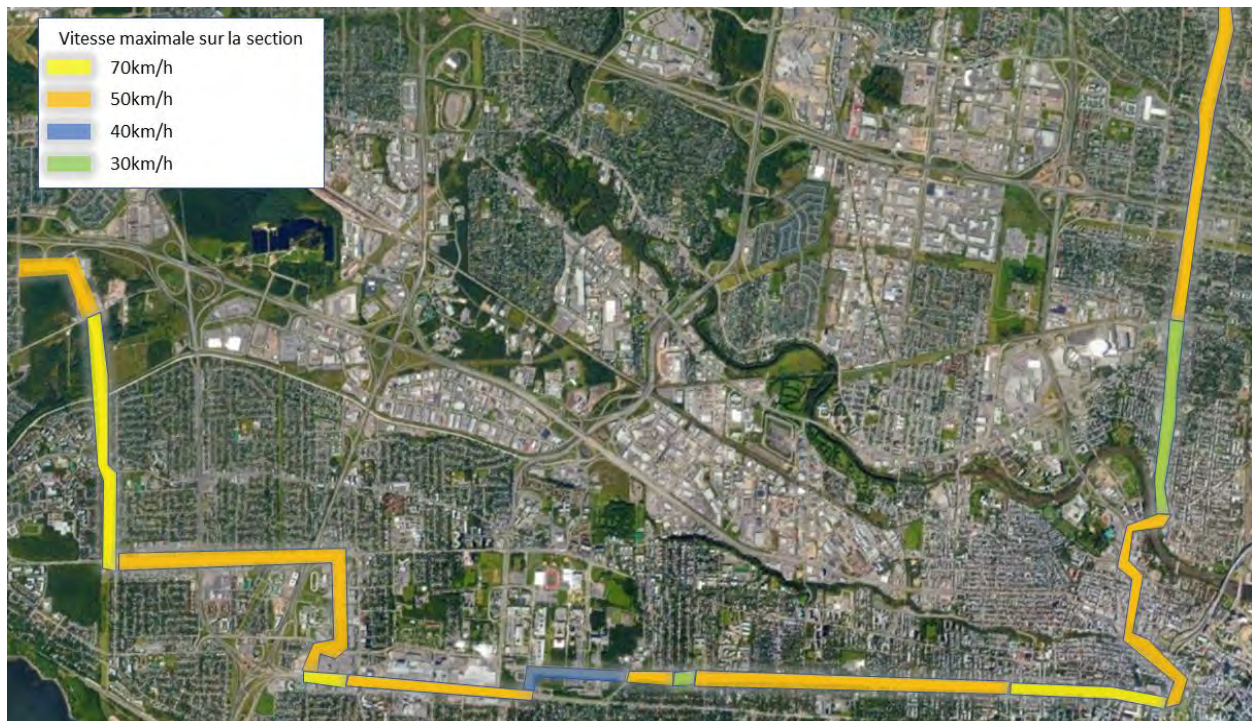


Figure 54 : Vitesse maximale selon le tronçon le long de la ligne de tramway

Outre la différenciation de vitesse le long de la ligne, il est également proposé, pour l'étude, de segmenter la ligne en tronçons, en distinguant les zones suivantes :

- Zones autour des stations sur une distance de 40 m de part et d'autre : une vitesse constante de 30 km/h est considérée;
- Zones autour de l'implantation des carrefours traversants pour les lignes tramway et tram-bus, sur une distance de 40 m de part et d'autre, une vitesse constante de 30 km/h est considérée;
- Zones en courbes circulées à 30 km/h (pour toutes les courbes de rayon inférieur à 100 m).

7.1.4 Résumé des hypothèses de modélisation du tramway

La ligne de tramway est définie selon 8 types de voies comme le présente le tableau ci-dessous.

Tableau 18 : Résumé des hypothèses de modélisation du tramway selon le type de voie

Type	Alignement de la voie	Vitesse projet (km/h)	Vitesse simulée (km/h)	Facteur de pondération (dB)	Observations
1	Droit	> 50	70	0	
2	Droit	> 40	50	0	
3	Droit	> 30	40	0	
4	Droit	≤ 30	30	0	
5	Autour station (droit ou en courbe)	≤ 30	30	0	40 m de part et d'autre station
6	Autour des carrefours traversants	30	30	0	40 m de part et d'autre du carrefour
7	Courbe de rayon < 100 m	20	30	+8 ou +3	Sans dispositif anti-crissement : +8 dB selon CNOSSOS, avec dispositif anti-crissement : +3 dB
8	Courbe de rayon > 100 m	40-50	50	0	

7.2 PRÉVISIONS DU TRAFIC ROUTIER LORS DE L'EXPLOITATION DU TRAMWAY

Les prévisions de trafic routier (DMJA) pour l'année 2026 ont été transmises par la Ville de Québec – voir carte présentée en **Annexe D**. Ces prévisions de trafic sont comparées à celles actuelles, prises en compte dans le modèle de prévision du bruit ambiant existant.

Les données DMJA ne distinguant pas les catégories de véhicules (voitures, motocycles, autobus, etc.), les prévisions du trafic des autobus en 2026, dans les voiries empruntées par le tramway, fournies par le RTC, sont prises en compte en complément. Dans la grande majorité des cas, le trafic des autobus est considéré comme nul dans les voiries où s'insèrera le tramway.

Les données DMJA indiquent une augmentation globale du trafic routier en 2026. Cette augmentation se traduit par une augmentation du bruit routier en général inférieur à 1 dB, si l'on ne distingue pas le pourcentage de contribution de chaque type de véhicule.

Le trafic des autobus étant nul sur les axes routiers où s'insère le tramway, l'effet global du changement du trafic routier à l'horizon 2026 est une diminution du bruit routier entre 1 dB et 4 dB, selon le secteur considéré.

Tableau 19 : Évolution du trafic routier entre le trafic routier existant et le trafic routier en exploitation du tramway

	Avenue des données	DMJA Actuel			DMJA 2026			Écart %			Écart en dB		
		Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total
Carte Ouest	Versant Nord	5 500	4 600	10 100	5 700	4 800	10 500	3,6	4,3	4,0	0,2	0,2	0,2
	Chemin Sainte-Foy	4 300	5 800	10 200	4 500	6 800	11 300	4,7	17,2	10,8	0,2	0,7	0,4
	Pie-XII	1 800	1 800	3 600	1 900	1 900	3 800	5,6	5,6	5,6	0,2	0,2	0,2
	Chemin des Quatre-Bourgeois	5 000	5 100	10 100	5 200	4 600	9 800	4,0	-9,8	-3,0	0,2	-0,4	-0,1
		8 100	8 500	16 600	8 400	8 900	17 300	3,7	4,7	4,2	0,2	0,2	0,2
		10 600	16 800	27 400	11 100	17 500	28 600	4,7	4,2	4,4	0,2	0,2	0,2
	Autoroute Duplessis 540	51 000	51 000	102 000	53 200	53 200	106 400	4,3	4,3	4,3	0,2	0,2	0,2
		53 000	53 000	106 000	53 300	55 300	108 600	0,6	4,3	2,5	0,0	0,2	0,1
		63 000	63 000	126 000	65 700	65 700	131 400	4,3	4,3	4,3	0,2	0,2	0,2
		28 000	28 000	56 000	29 200	29 200	58 400	4,3	4,3	4,3	0,2	0,2	0,2
	Autoroute Henri-IV 73	64 000	64 000	128 000	69 600	66 700	136 300	8,8	4,2	6,5	0,4	0,2	0,3
		92 000	92 000	184 000	95 900	95 900	191 800	4,2	4,2	4,2	0,2	0,2	0,2
		82 000	82 000	164 000	85 500	85 500	171 000	4,3	4,3	4,3	0,2	0,2	0,2
		89 000	89 000	178 000	92 800	92 800	185 600	4,3	4,3	4,3	0,2	0,2	0,2
	Route de L'Église	3 800	71 000	10 900	4 000	74 000	11 400	5,3	4,2	4,6	0,2	0,2	0,2
		2 100	3 500	5 600	2 200	3 600	5 800	4,8	2,9	3,6	0,2	0,1	0,2
	Boulevard d'Hochelaga	10 400	12 500	23 000	10 800	18 800	29 600	3,8	50,4	28,7	0,2	1,8	1,1

	Avenue des données	DMJA Actuel			DMJA 2026			Écart %			Écart en dB		
		Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total
		11 700	12 300	24 000	13 900	14 000	27 900	18,8	13,8	16,3	0,7	0,6	0,7
	Avenue Lavigenie	3 500	6 300	9 800	6 500	6 600	13 100	85,7	4,8	33,7	2,7	0,2	1,3
	Boulevard Laurier	17 200	14 400	31 700	16 200	9 300	25 500	-5,8	-35,4	-19,6	-0,3	-1,9	-0,9
		15 700	13 900	29 600	16 400	14 500	30 900	4,5	4,3	4,4	0,2	0,2	0,2
	Autoroute Robert-Bourassa 740	11 900	14 800	26 700	14 800	13 700	28 500	24,4	-7,4	6,7	0,9	-0,3	0,3
	Rue de L'Université	3 200	3 300	6 500	3 300	3 400	6 700	3,1	3,0	3,1	0,1	0,1	0,1
	Avenue des Gouverneurs	7 300	5 200	12 500	7 100	1 700	8 800	-2,7	-67,3	-29,6	-0,1	-4,9	-1,5
Carte sud	Boulevard René-Lévesque O	7 300	5 200	12 500	7 100	1 700	8 800	-2,7	-67,3	-29,6	-0,1	-4,9	-1,5
		5 500	5 600	11 100	5 300	4 500	9 800	-3,6	-19,6	-11,7	-0,2	-0,9	-0,5
		5 200	5 400	10 600	5 200	5 200	10 400	0,0	-3,7	-1,9	0,0	-0,2	-0,1
		5 100	5 600	10 700	5 300	5 800	11 100	3,9	3,6	3,7	0,2	0,2	0,2
		7 500	7 400	15 000	7 800	7 700	15 500	4,0	4,1	3,3	0,2	0,2	0,1
	Avenue Myrand	2 300	3 000	5 300	2 400	3 100	5 500	4,3	3,3	3,8	0,2	0,1	0,2
	Avenue Maguire	2 000	1 400	3 400	2 100	1 500	3 600	5,0	7,1	5,9	0,2	0,3	0,2
	Boulevard Laurier	12 700	11 300	24 000	13 300	13 200	26 500	4,7	16,8	10,4	0,2	0,7	0,4
		13 700	14 300	28 000	14 800	15 100	29 900	8,0	5,6	6,8	0,3	0,2	0,3
		12 000	6 800	18 800	13 200	7 300	20 500	10,0	7,4	9,0	0,4	0,3	0,4

	Avenue des données	DMJA Actuel			DMJA 2026			Écart %			Écart en dB		
		Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total
		5 800	9 000	14 900	6 000	9 400	15 400	3,4	4,4	3,4	0,1	0,2	0,1
	Avenue Holland	3 600	3 700	7 300	3 800	3 900	7 700	5,6	5,4	5,5	0,2	0,2	0,2
	Avenue Belvédère	2 100	2 500	4 600	2 200	2 700	4 900	4,8	8,0	6,5	0,2	0,3	0,3
	Chemin Sainte-Foy	8 100	5 700	13 800	8 400	6 100	14 500	3,7	7,0	5,1	0,2	0,3	0,2
		5 700	5 700	11 400	5 900	5 900	11 800	3,5	3,5	3,5	0,1	0,1	0,1
	Rue de la Couronne	10 100	0	10 100	16 100	0	10 100	59,4	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
		9 100	0	9 100	15 000	0	15 000	64,8	0,0	64,8	2,2	0,0	2,2
		12 800	13 800	26 600	13 000	14 400	27 700	1,6	4,3	4,1	0,1	0,2	0,2
		18 900	14 000	32 900	19 700	14 600	34 300	4,2	4,3	4,3	0,2	0,2	0,2
		17 400	9 600	27 000	18 100	10 000	28 100	4,0	4,2	4,1	0,2	0,2	0,2
	Rue Dorchester	5 600	5 400	10 900	5 800	5 600	11 400	3,6	3,7	4,6	0,2	0,2	0,2
		0	15 500	15 500	0	16 200	16 200	0,0	4,5	4,5	0,0	0,2	0,2
	Boulevard Charest Est	11 200	9 700	20 900	11 700	10 100	21 800	4,5	4,1	4,3	0,2	0,2	0,2
		7 600	5 200	12 800	8 100	5 400	13 500	6,6	3,8	5,5	0,3	0,2	0,2
	Rue du Prince-Édouard	7 000	5 100	12 000	7 400	6 000	13 400	5,7	17,6	11,7	0,2	0,7	0,5
	Autoroute Laurentienne 973	45 000	450 000	90 000	46 900	46 900	94 800	4,2	-89,6	5,3	0,2	-9,8	0,2
	Rue de la Pointe-aux-Lièvres	2 000	1 700	3 700	4 300	1 800	6 100	115,0	5,9	64,9	3,3	0,2	2,2

	Avenue des données	DMJA Actuel			DMJA 2026			Écart %			Écart en dB		
		Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total
	Rue de la Croix-Rouge	7 100	7 000	14 200	7 400	3 800	11 200	4,2	-45,7	-21,1	0,2	-2,7	-1,0
Carte Est	1 ^{re} Avenue	3 100	4 400	7 500	0	4 600	4 600	0,0	4,5	-38,7	0,0	0,2	-2,1
		5 600	5 000	10 600	1 300	5 200	6 500	-76,8	4,0	-38,7	-6,3	0,2	-2,1
		5 200	56 000	10 700	4 900	5 800	10 700	-5,8	-89,6	0,0	-0,3	-9,8	0,0
		4 500	6 200	10 600	2 800	5 700	8 500	-37,8	-8,1	-19,8	-2,1	-0,4	-1,0
		5 400	7 700	13 200	5 200	8 000	13 200	-3,7	3,9	0,0	-0,2	0,2	0,0
	4 ^e Rue	3 500	3 400	6 900	3 600	3 500	7 100	2,9	2,9	2,9	0,1	0,1	0,1
	3 ^e Avenue	2 100	2 900	5 000	2 300	3 800	6 100	9,5	31,0	22,0	0,4	1,2	0,9
	Avenue Eugène-Lamontagne	4 800	5 500	10 300	5 000	5 700	10 700	4,2	3,6	3,9	0,2	0,2	0,2
	Boulevard des Alliés	1 800	1 800	3 600	2 500	1 900	4 400	38,9	5,6	22,2	1,4	0,2	0,9
	4 ^e Avenue	4 600	3 400	8 000	4 800	3 500	8 300	4,3	2,9	3,8	0,2	0,1	0,2
	41 ^e Rue E	3 400	2 500	5 900	3 500	2 700	6 200	2,9	8,0	5,1	0,1	0,3	0,2
		7 100	3 600	10 700	7 400	3 800	11 200	4,2	5,6	4,7	0,2	0,2	0,2
		4 600	8 800	13 300	6 900	4 400	11 300	50,0	-50,0	-15,0	1,8	-3,0	-0,7
		2 200	1 400	3 600	4 200	1 500	5 700	90,9	7,1	58,3	2,8	0,3	2,0
	Autoroute Félix-Leclerc 40	116 000	116 000	232 000	121 000	121 000	242 000	4,3	4,3	4,3	0,2	0,2	0,2
		109 000	109 000	218 000	113 700	113 700	227 400	4,3	4,3	4,3	0,2	0,2	0,2

	Avenue des données	DMJA Actuel			DMJA 2026			Écart %			Écart en dB		
		Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total	Sens 1	Sens 2	Total
	46e Rue O	4 300	1 500	5 800	4 500	2 300	6 800	4,7	53,3	17,2	0,2	1,9	0,7
		2 200	1 000	3 300	2 400	1 800	4 200	9,1	80,0	27,3	0,4	2,6	1,0
Carte Nord	55e Rue E	1 800	1 600	3 400	1 900	1 700	3 600	5,6	6,3	5,9	0,2	0,3	0,2
	1 ^{re} Avenue	5 400	7 700	13 200	5 200	8 000	13 200	-3,7	3,9	0,0	-0,2	0,2	0,0
	Avenue Isaac -Bédard	6 000	7 700	13 700	6 300	8 000	14 300	5,0	3,9	4,4	0,2	0,2	0,2
		6 200	7 700	14 000	6 600	7 700	14 300	6,5	0,0	2,1	0,3	0,0	0,1
		6 000	7 300	13 300	5 900	7 300	13 200	-1,7	0,0	-0,8	-0,1	0,0	0,0
	76e Rue O	2 100	4 800	6 900	2 200	5 900	81 00	4,8	22,9	17,4	0,2	0,9	0,7

7.3 HYPOTHÈSES DE CALCUL

La modélisation de l'impact du tramway en exploitation est réalisée en prenant en compte différentes hypothèses présentées précédemment. Le modèle créé pour calculer l'ambiance sonore existante est modifié afin de simuler les niveaux de bruit ambiant dus à l'opération du tramway.

Les calculs sont lancés pour un panel de récepteurs représentatifs le long du tracé du tramway.

Les paramètres de calculs sont identiques à ceux utilisés dans les simulations de l'ambiance sonore existante.

7.4 RÉSULTATS ET IMPACTS DIRECTS POUR LES SECTIONS EN SURFACE

L'analyse des résultats des calculs de l'impact du tramway sur l'ambiance sonore lors de son exploitation est réalisée en deux étapes. La ligne du projet est découpée en 17 secteurs.

La première étape consiste à tracer et visualiser le niveau sonore du tramway seul à l'aide de cartographies acoustiques.

La seconde étape est une étude quantitative des effets de l'opération du tramway sur l'ambiance sonore au niveau d'une sélection de récepteurs sensibles représentatifs. Cette étude permet de déterminer, à partir de la méthodologie du guide « FTA » présentée dans la première partie, si un secteur risque d'être affecté auquel cas des mesures de réduction du bruit seront à envisager.

Les critères retenus et le code couleur utilisé pour l'analyse des niveaux d'impact sont résumés ci-après.

Tableau 20 : Critères d'identification des niveaux d'impact et code couleur utilisé

Niveau d'impact	Dépassement des seuils retenus	Code couleur
Pas d'impact	≤ 0 dB(A)	
Impact faible	Entre 0 et +2 dB(A)	
Impact modéré	Entre +3 et +5 dB(A)	
Impact fort	Supérieur à +5 dB(A)	

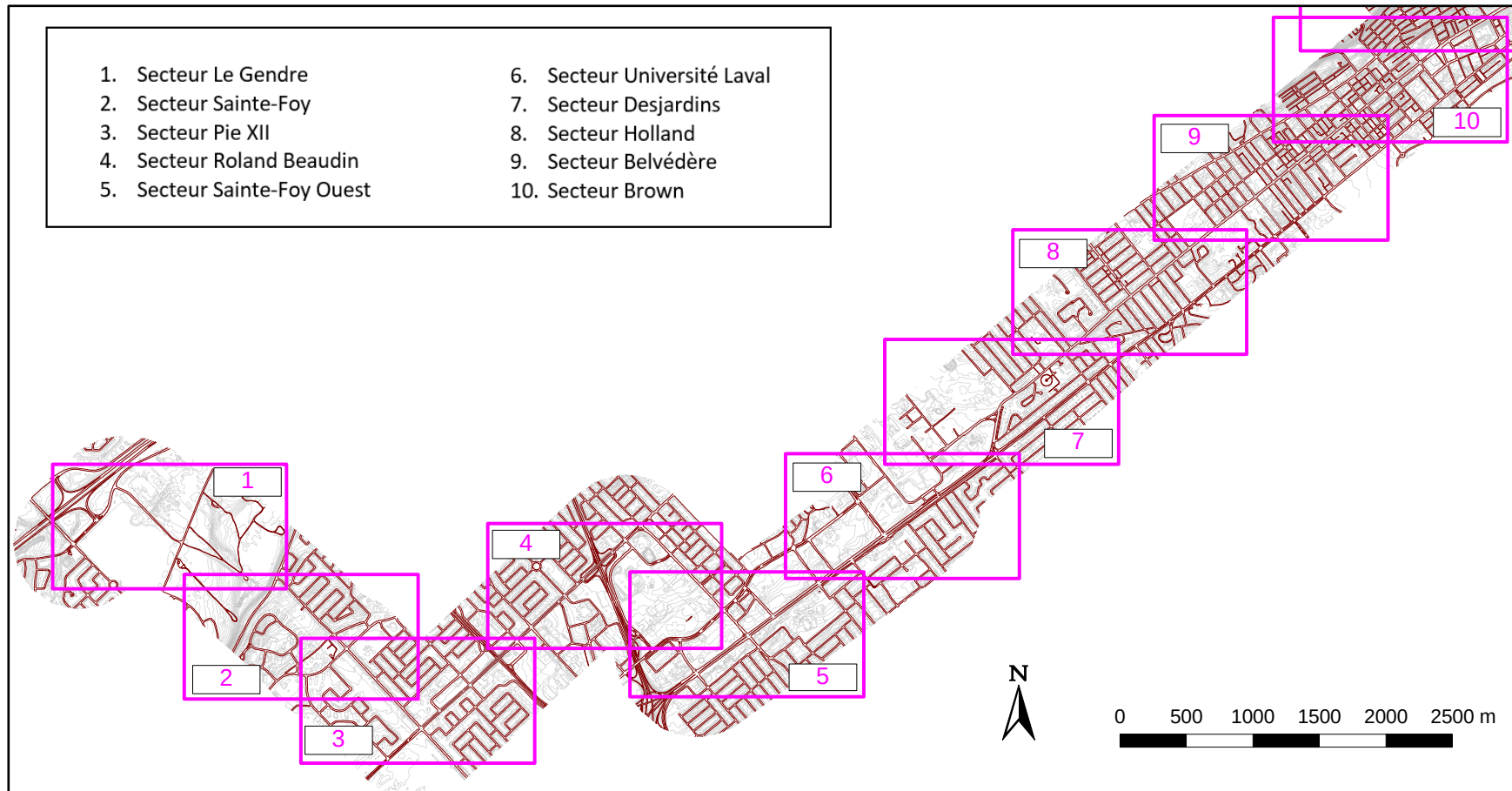


Figure 55 : Calepinage des planches de cartographie de bruit 1/2

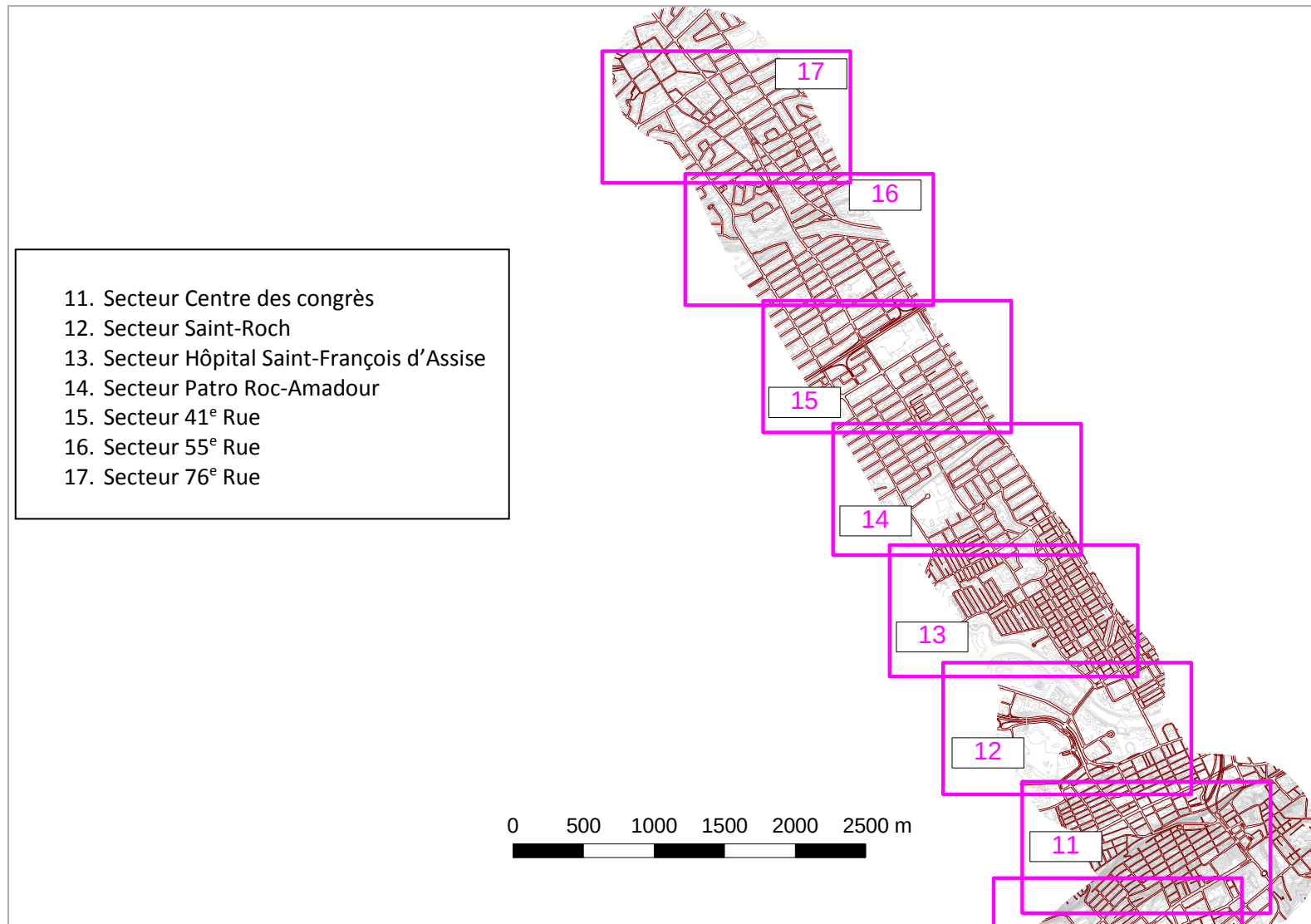


Figure 56 : Calepinage des planches de cartographie de bruit 2/2

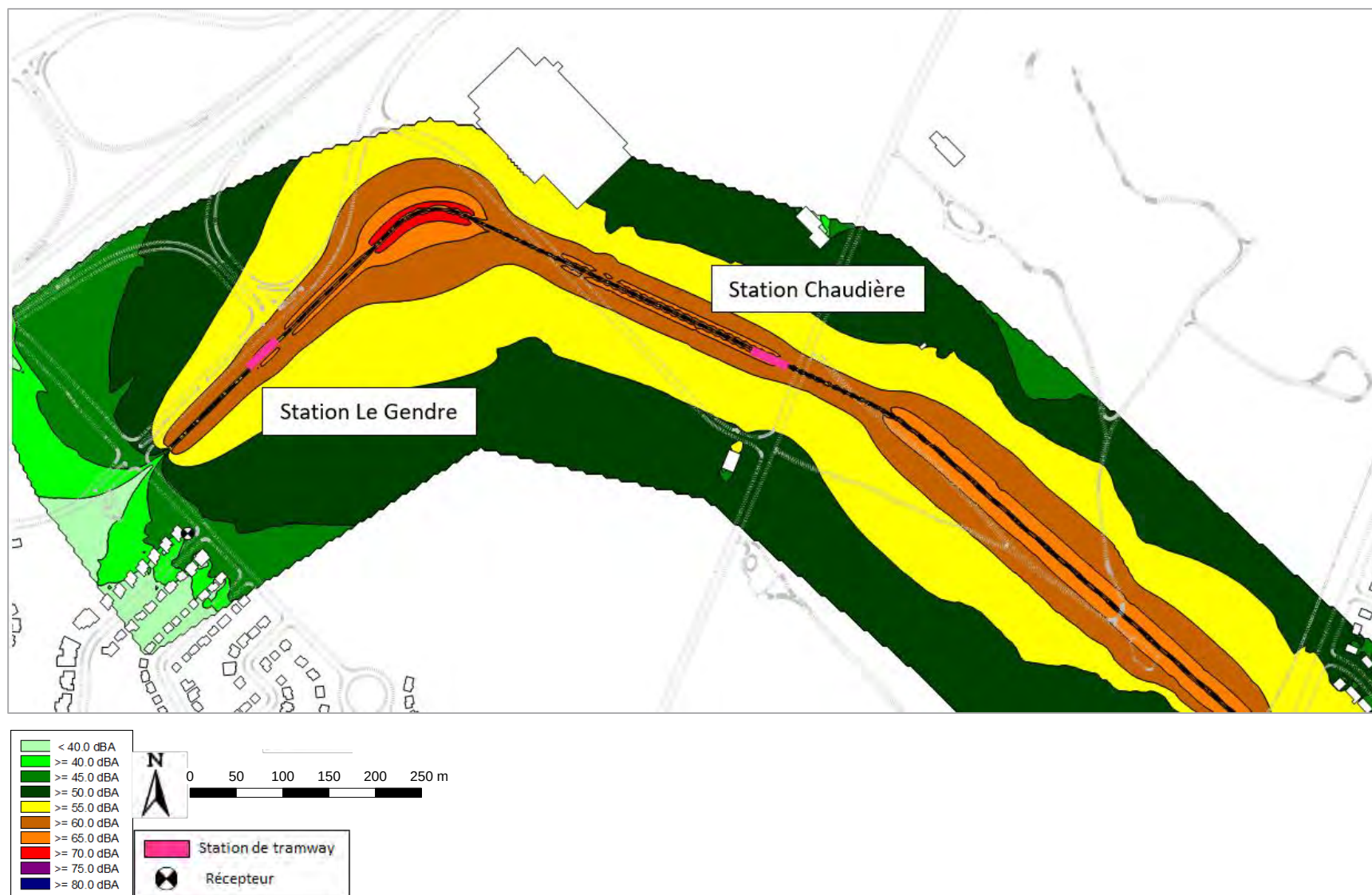


Figure 57 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

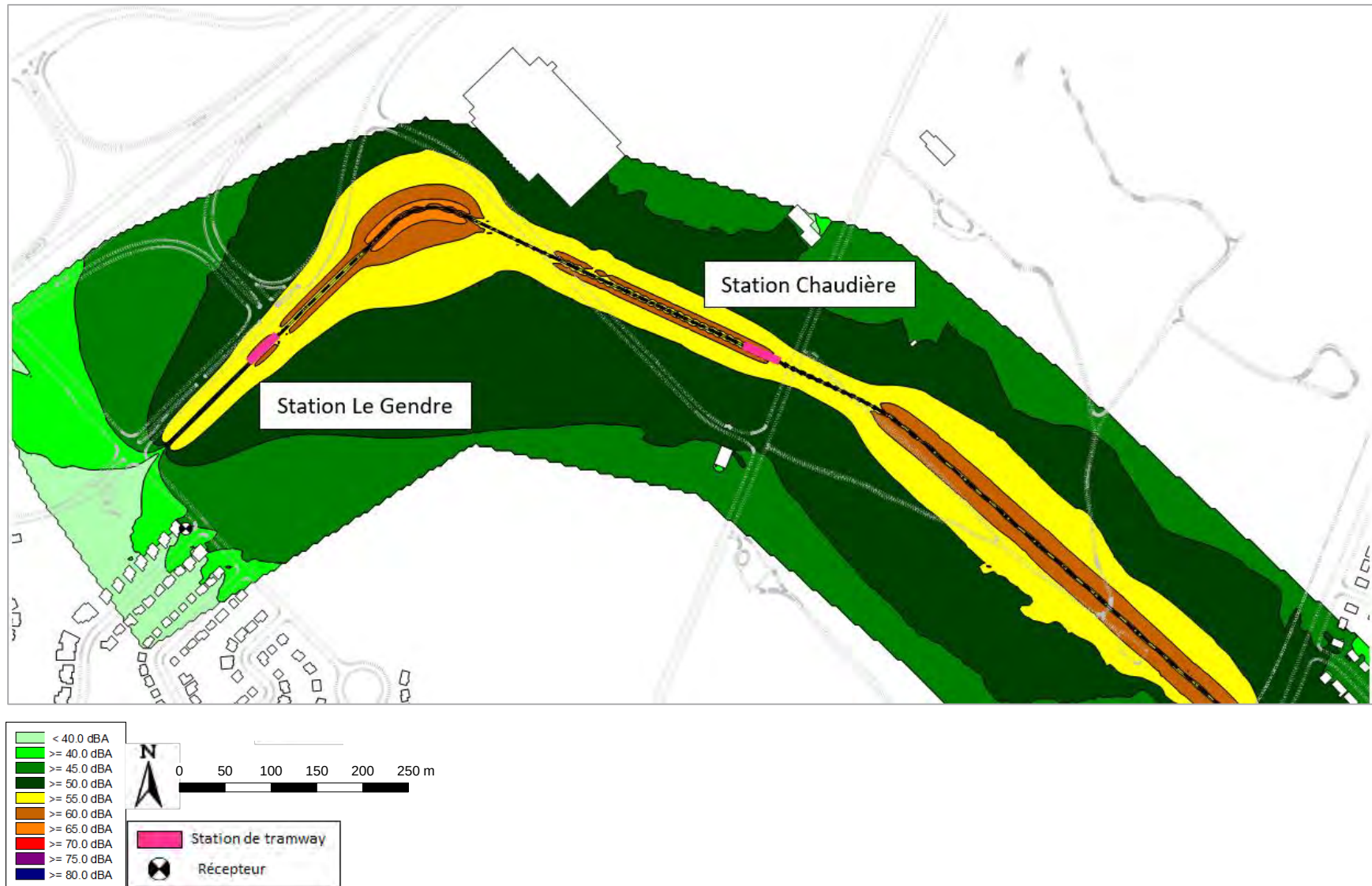


Figure 58 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

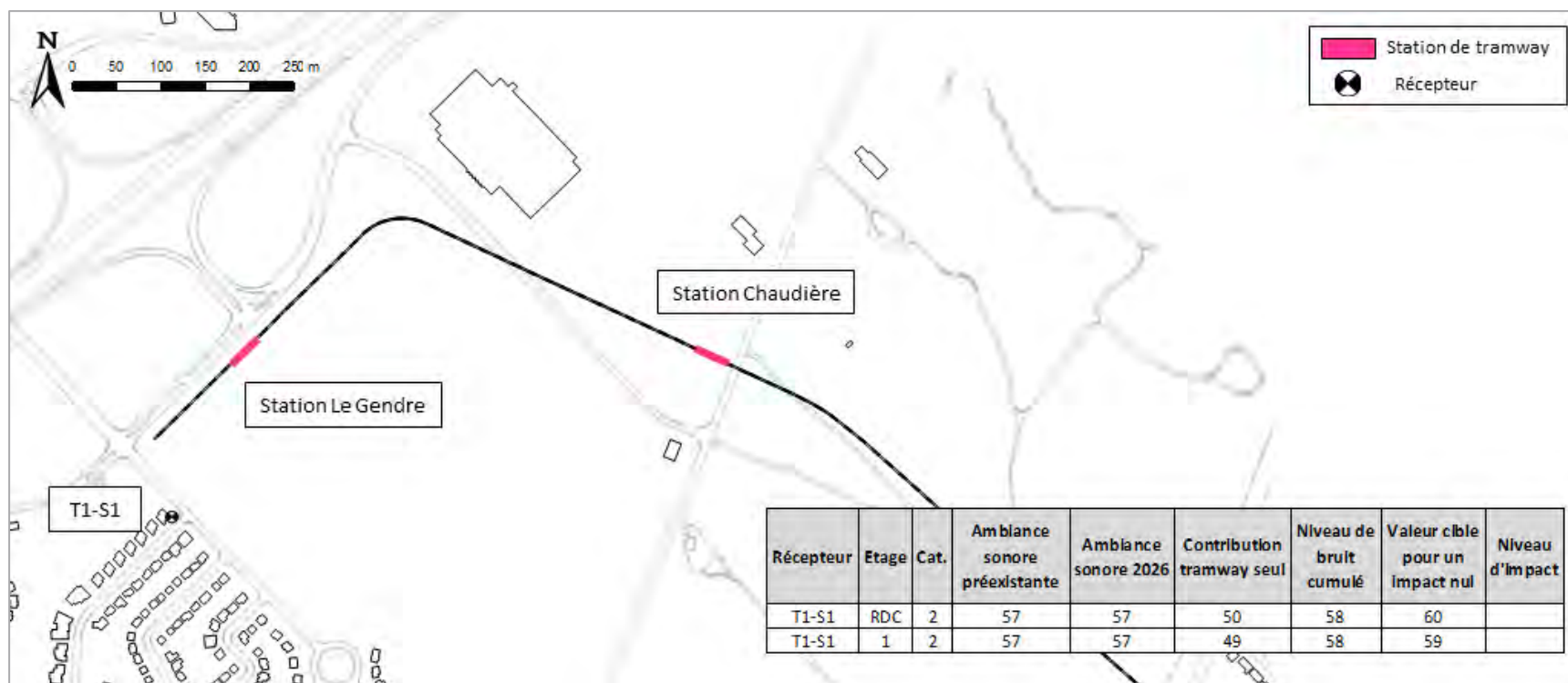


Figure 59 : Impact direct du projet - Secteur Le Gendre – Échelle 1/4000^e



Figure 60 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Saint-Foy – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 61 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Saint-Foy – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

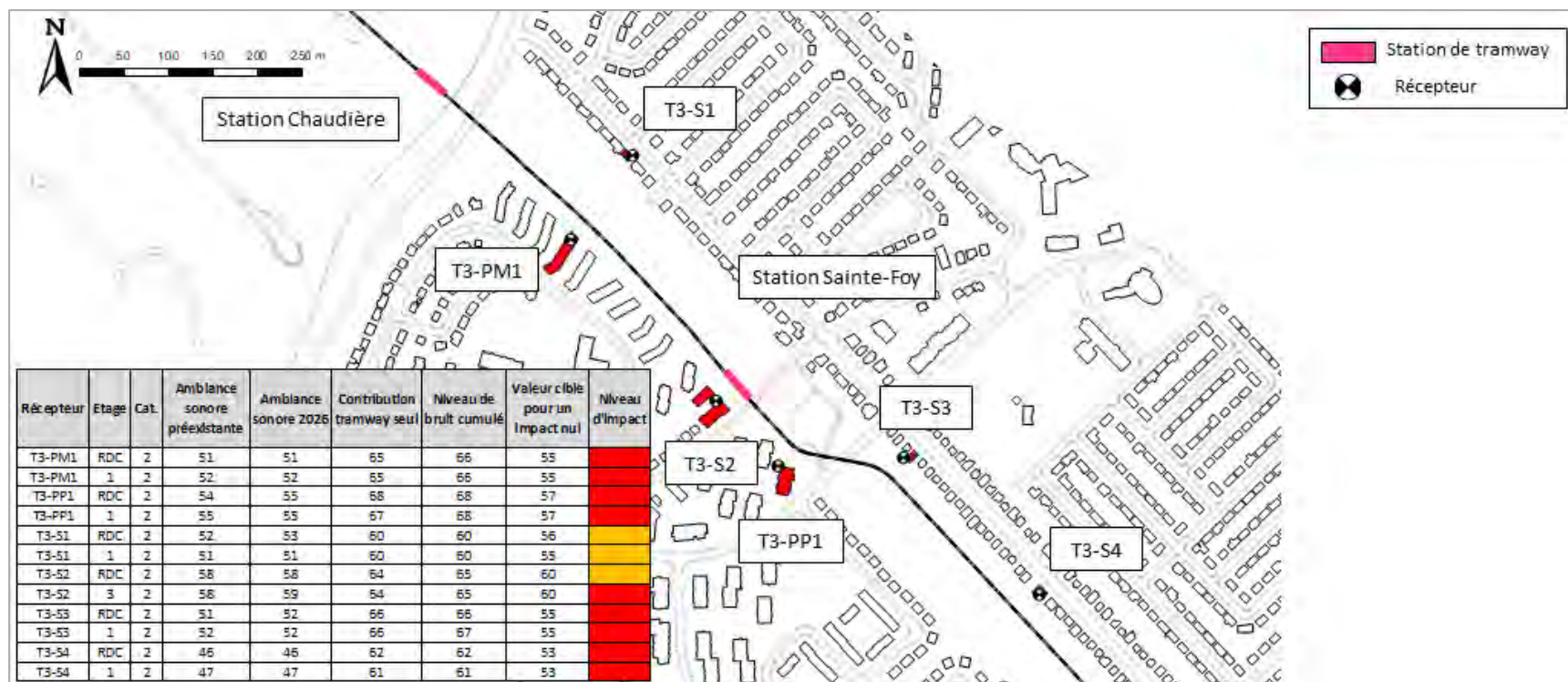


Figure 62 : Impact direct du projet - Secteur Sainte-Foy – Échelle 1/4000^e



Figure 63 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

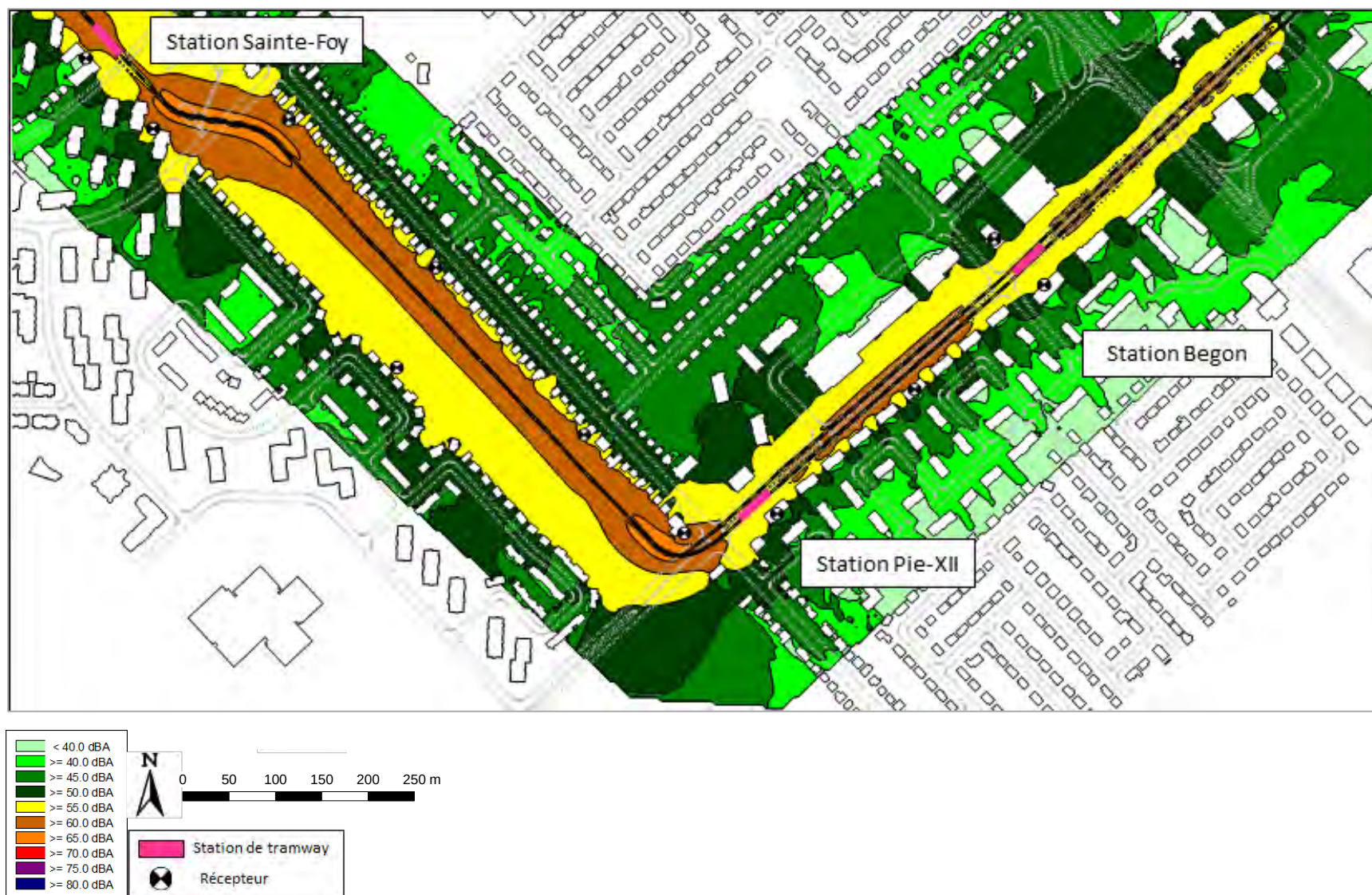


Figure 64 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 65 : Impact direct du projet - Secteur Pie-XII – Échelle 1/4000°



Figure 66 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 67 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

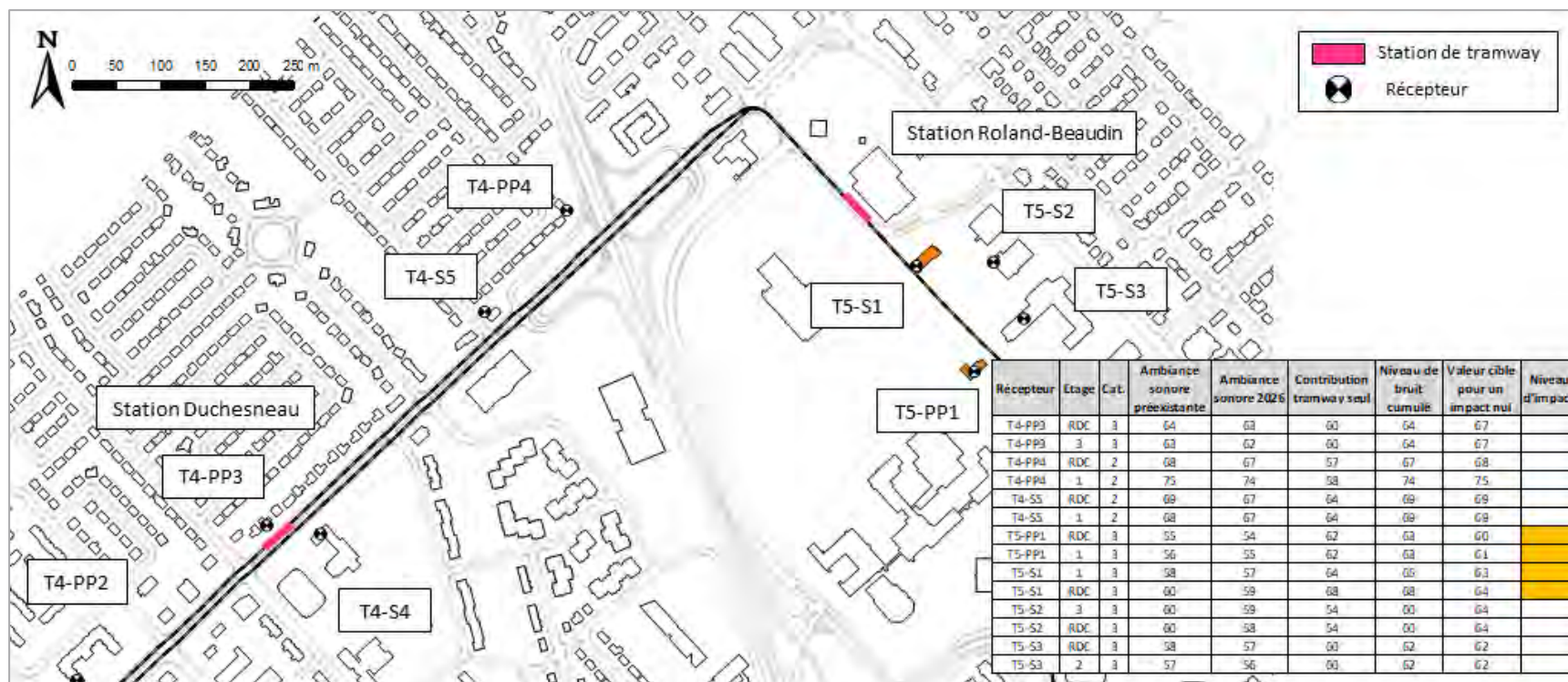


Figure 68 : Impact direct du projet - Secteur Roland-Beaudin – Échelle 1/4000°

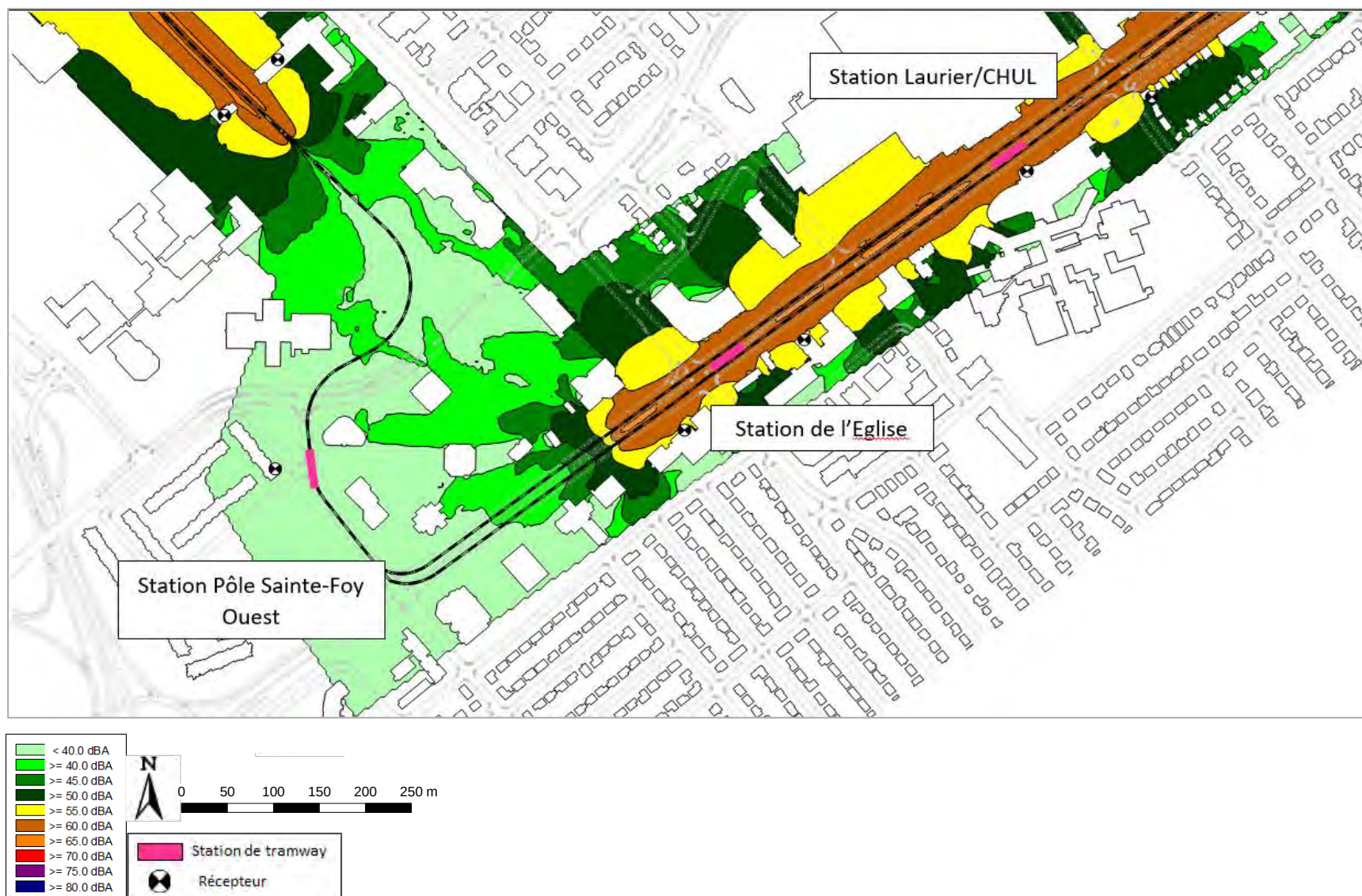


Figure 69 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Sainte-Foy Ouest – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

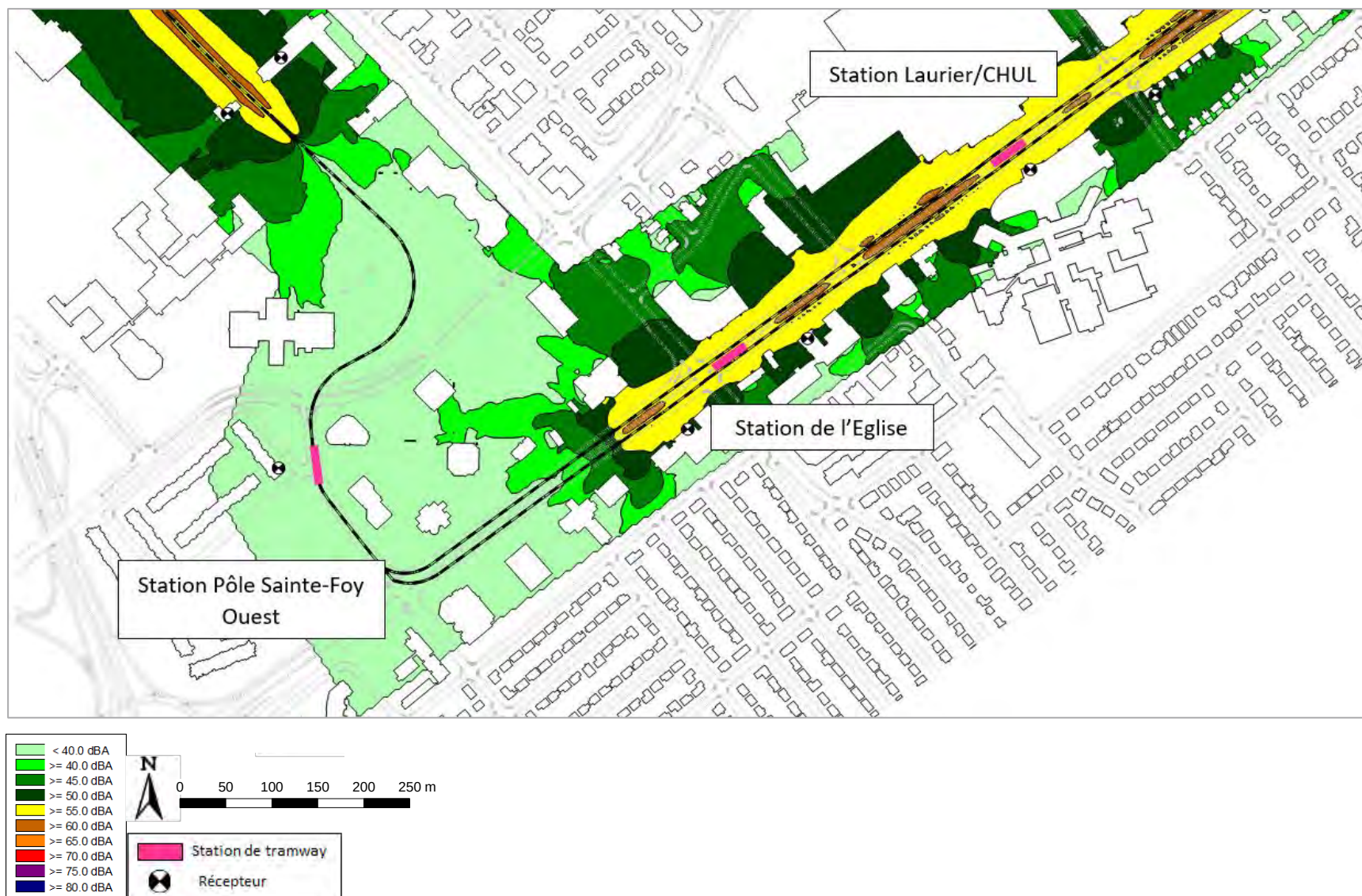


Figure 70 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Sainte-Foy Ouest – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

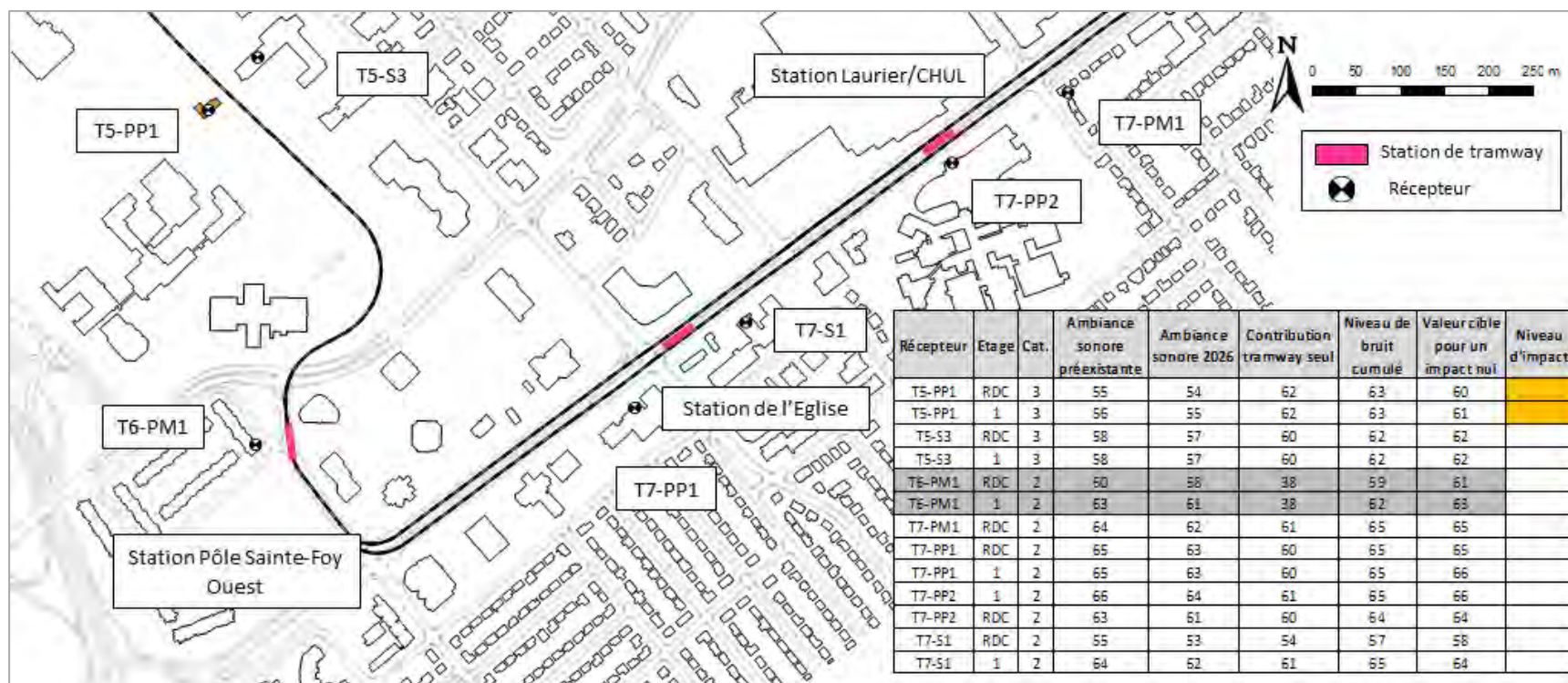


Figure 71 : Impact direct du projet - Secteur Sainte-Foy Ouest – Échelle 1/4000^e



Figure 72 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Université Laval – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 73 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Université Laval – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

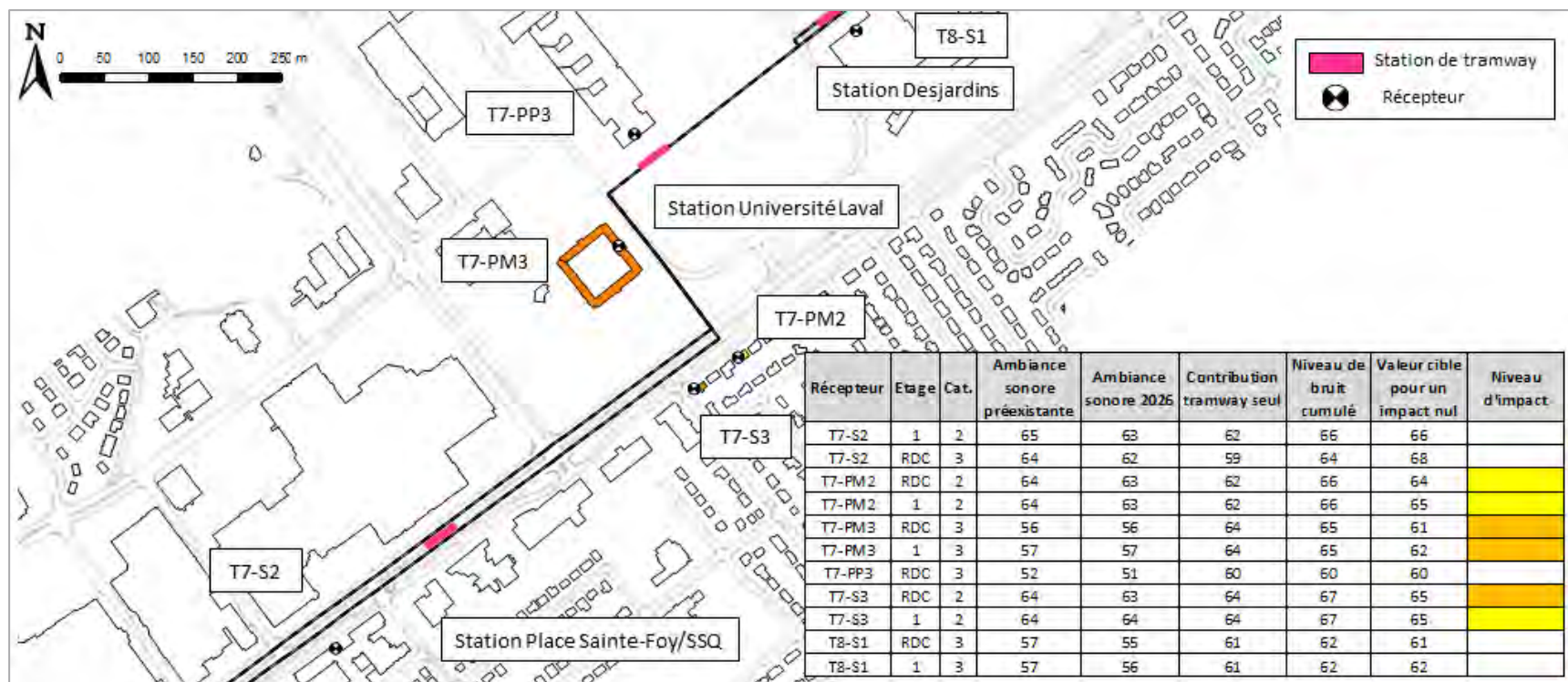


Figure 74 : Impact direct du projet - Secteur Université Laval – Échelle 1/4000^e

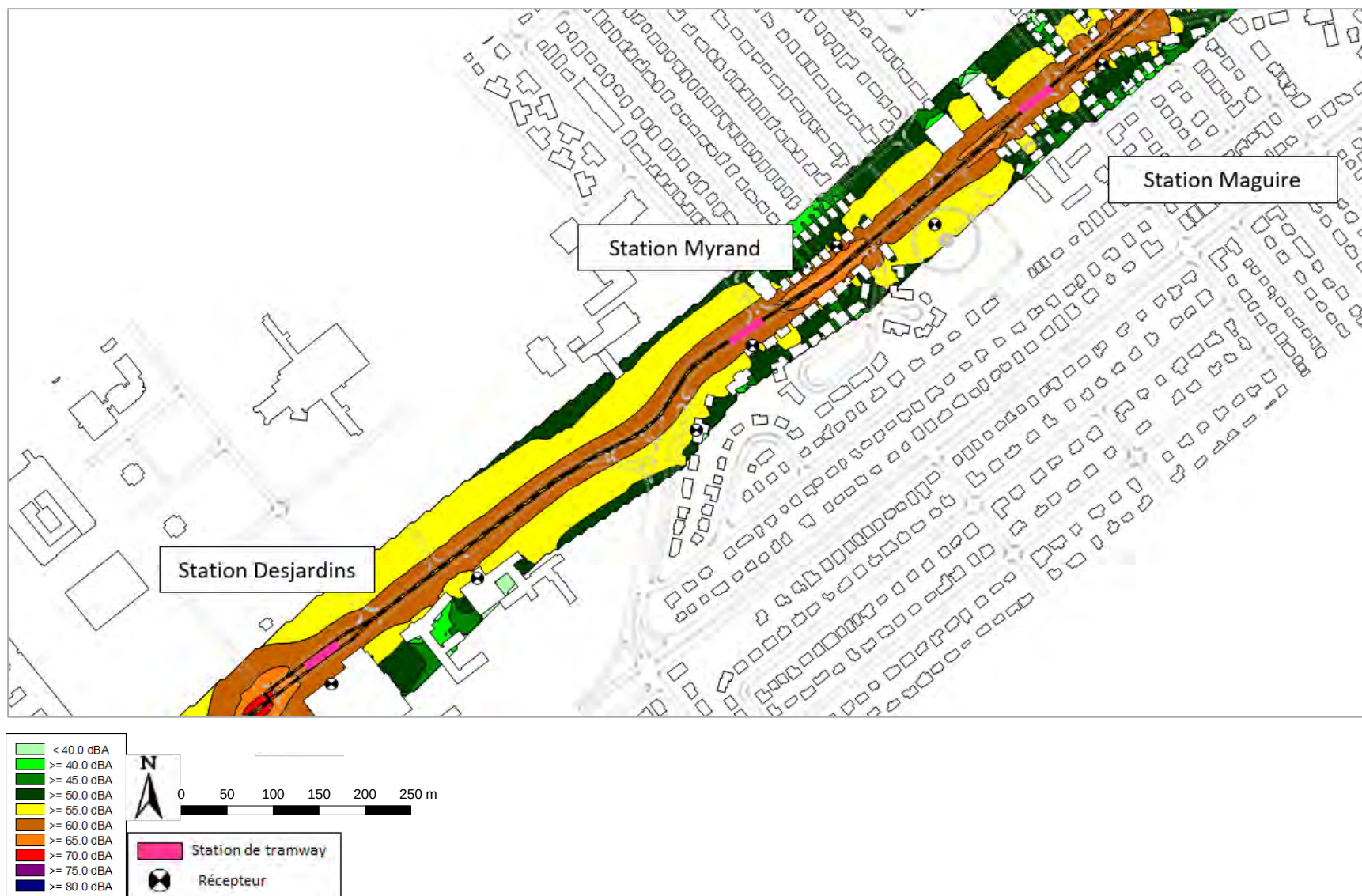


Figure 75 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Desjardins – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 76 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Desjardins – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

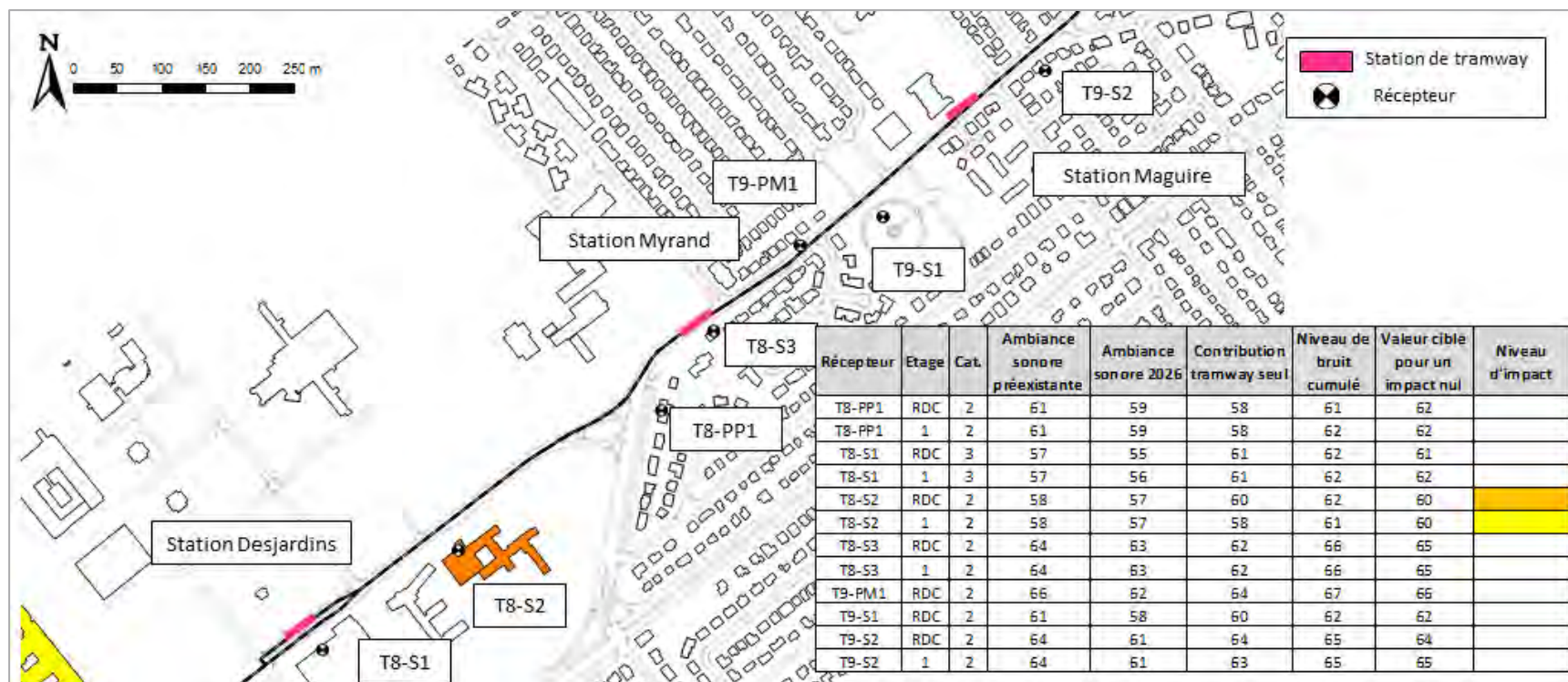


Figure 77 : Impact direct du projet - Secteur Desjardins – Échelle 1/4000^e

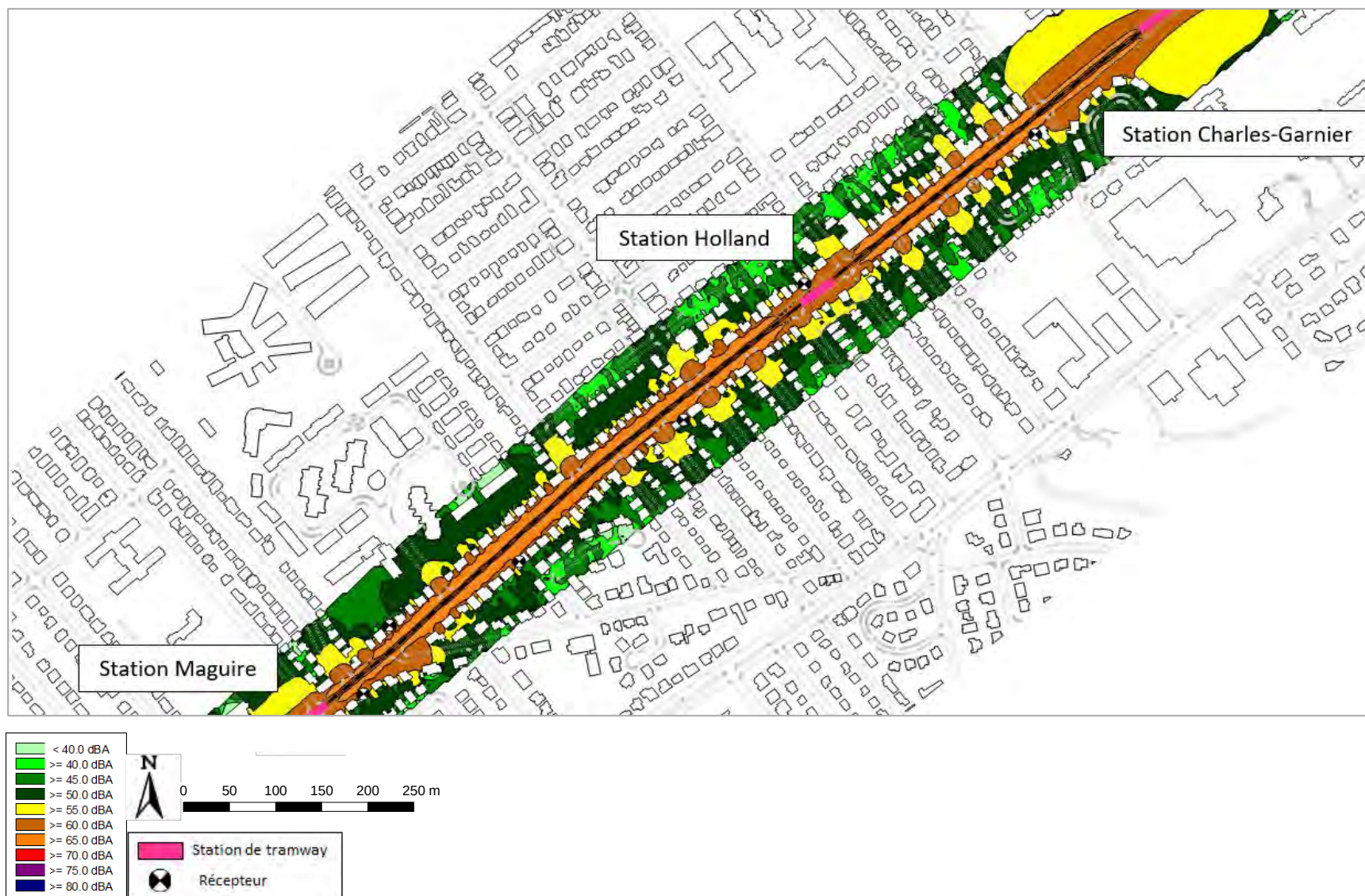


Figure 78 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Holland – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

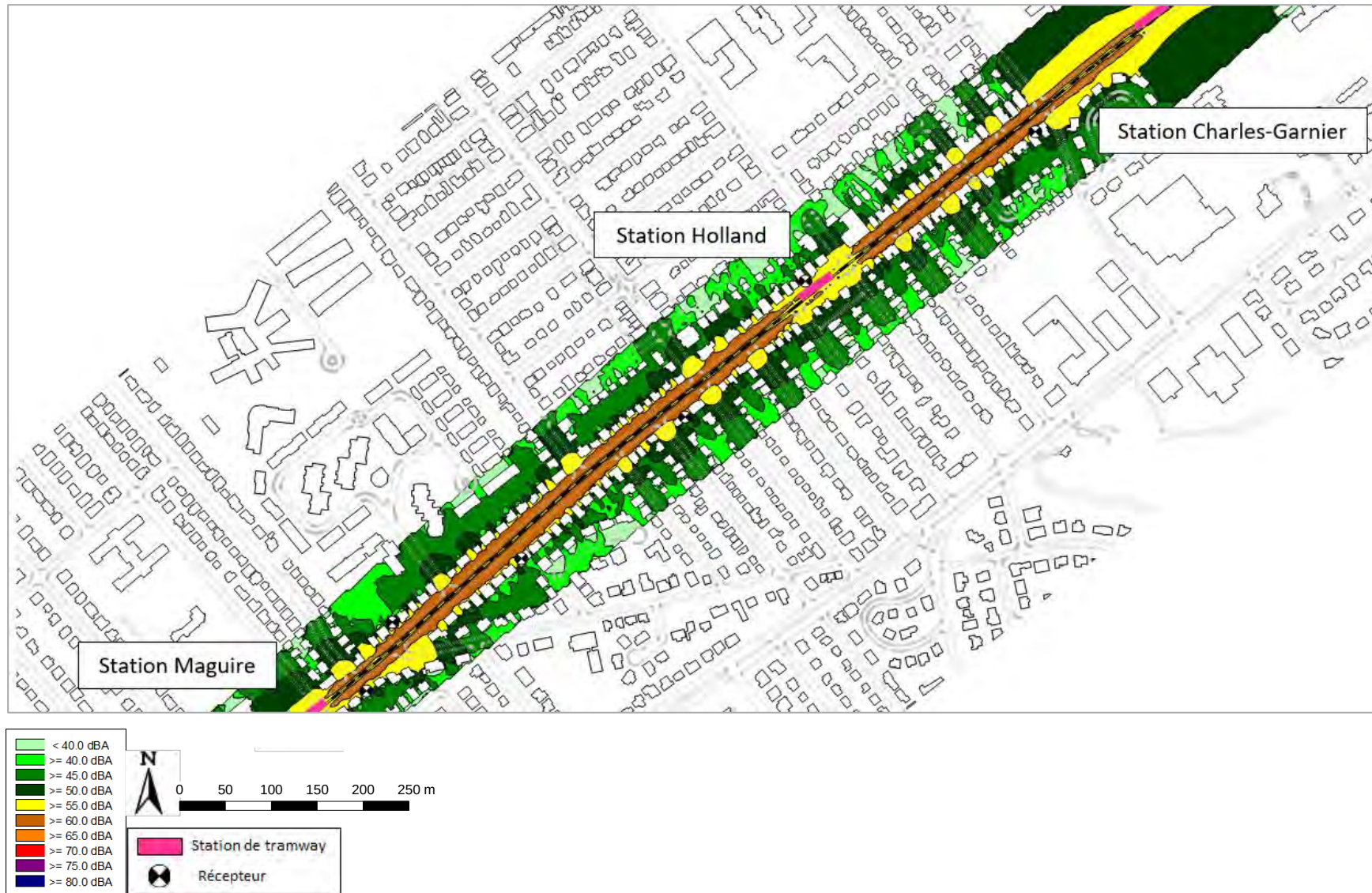


Figure 79 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Holland – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

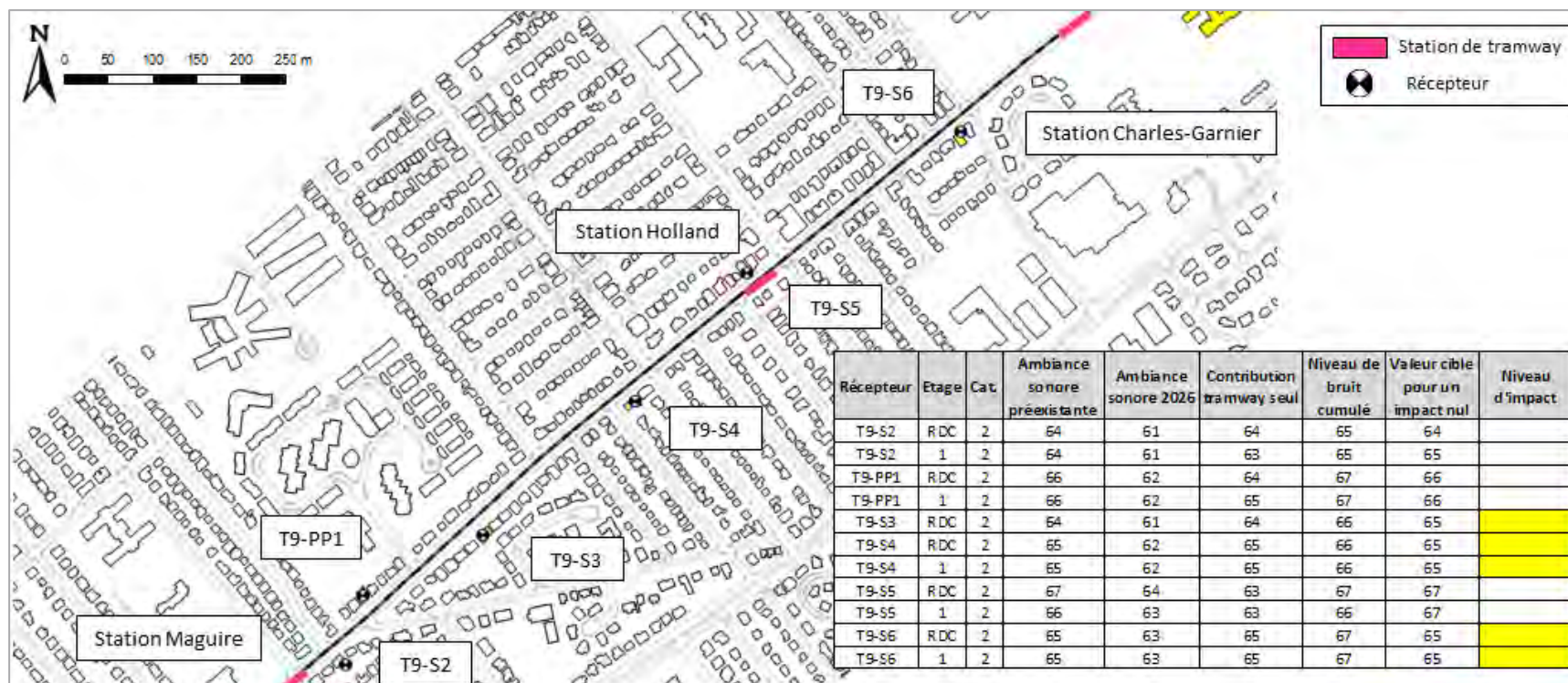


Figure 80 : Impact direct du projet - Secteur Holland – Échelle 1/4000^e

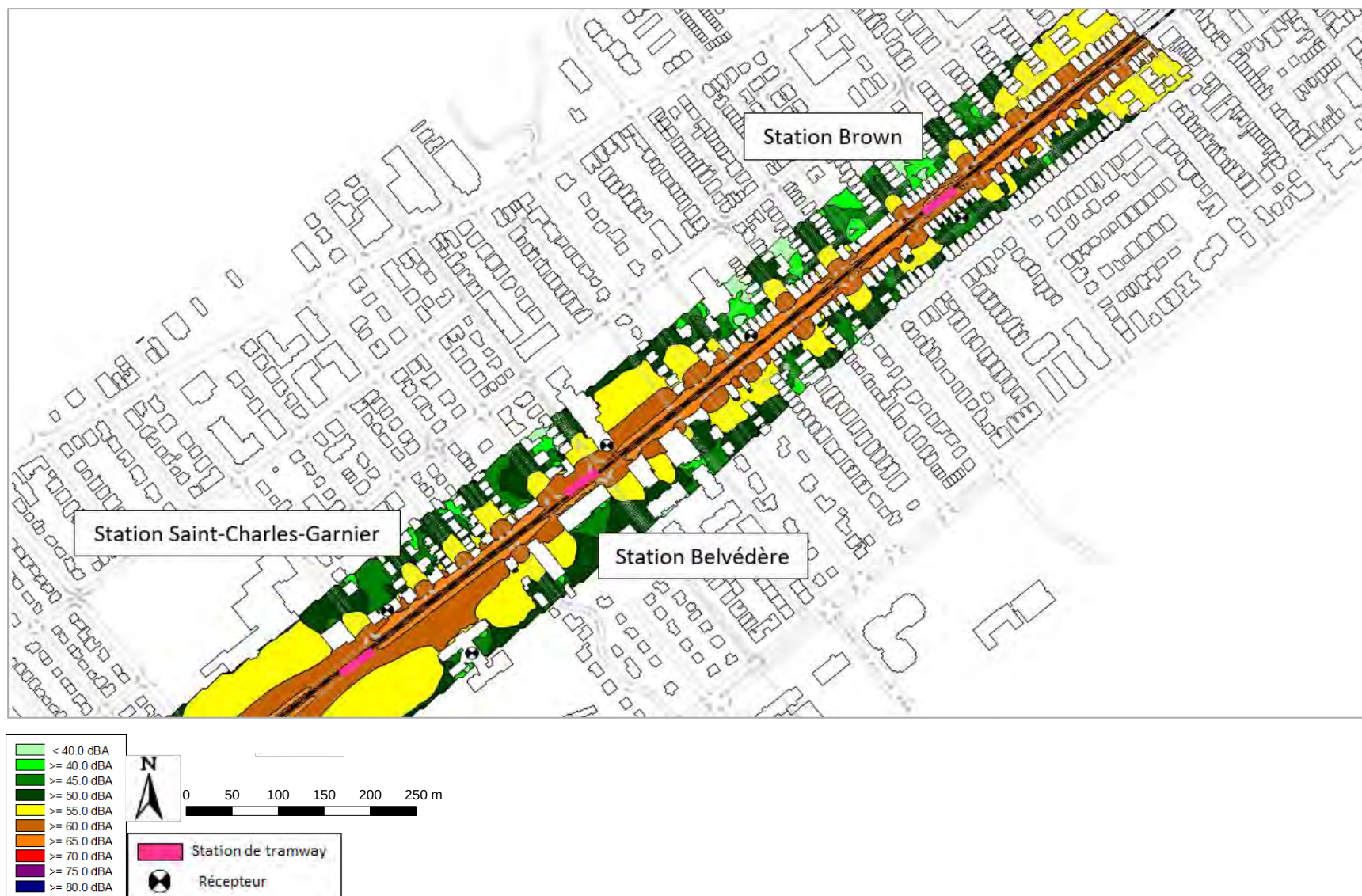


Figure 81 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Belvédère – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

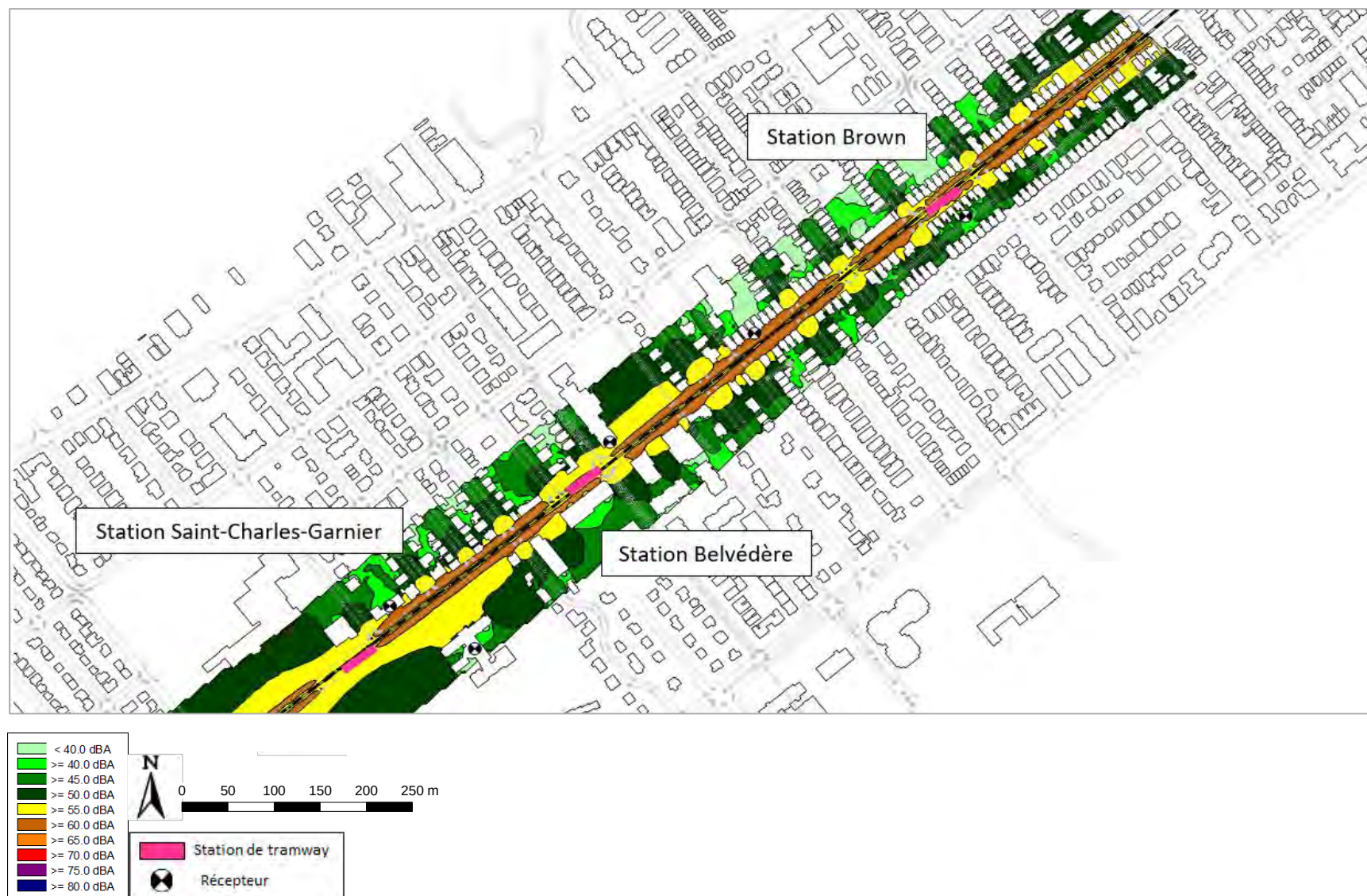


Figure 82 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Belvédère – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

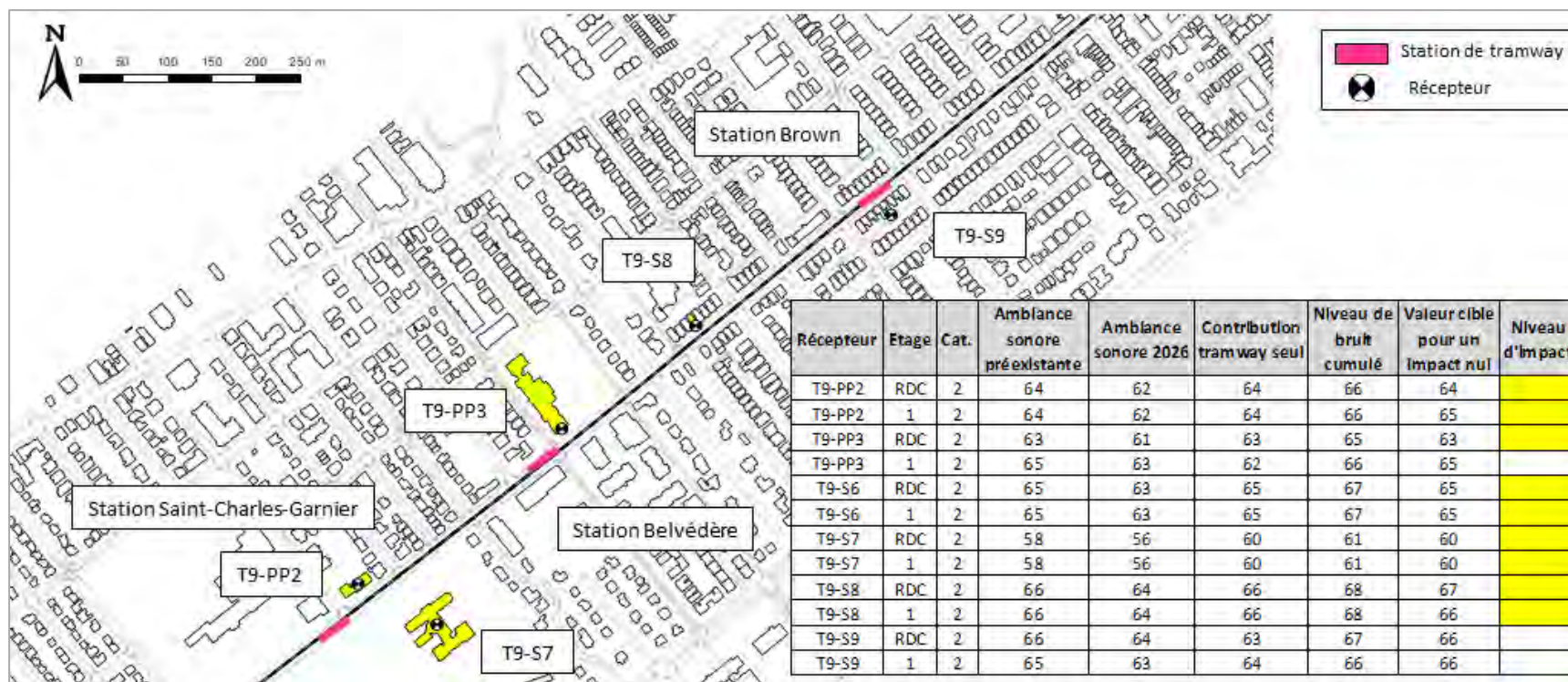


Figure 83 : Impact direct du projet - Secteur Belvédère – Échelle 1/4000°

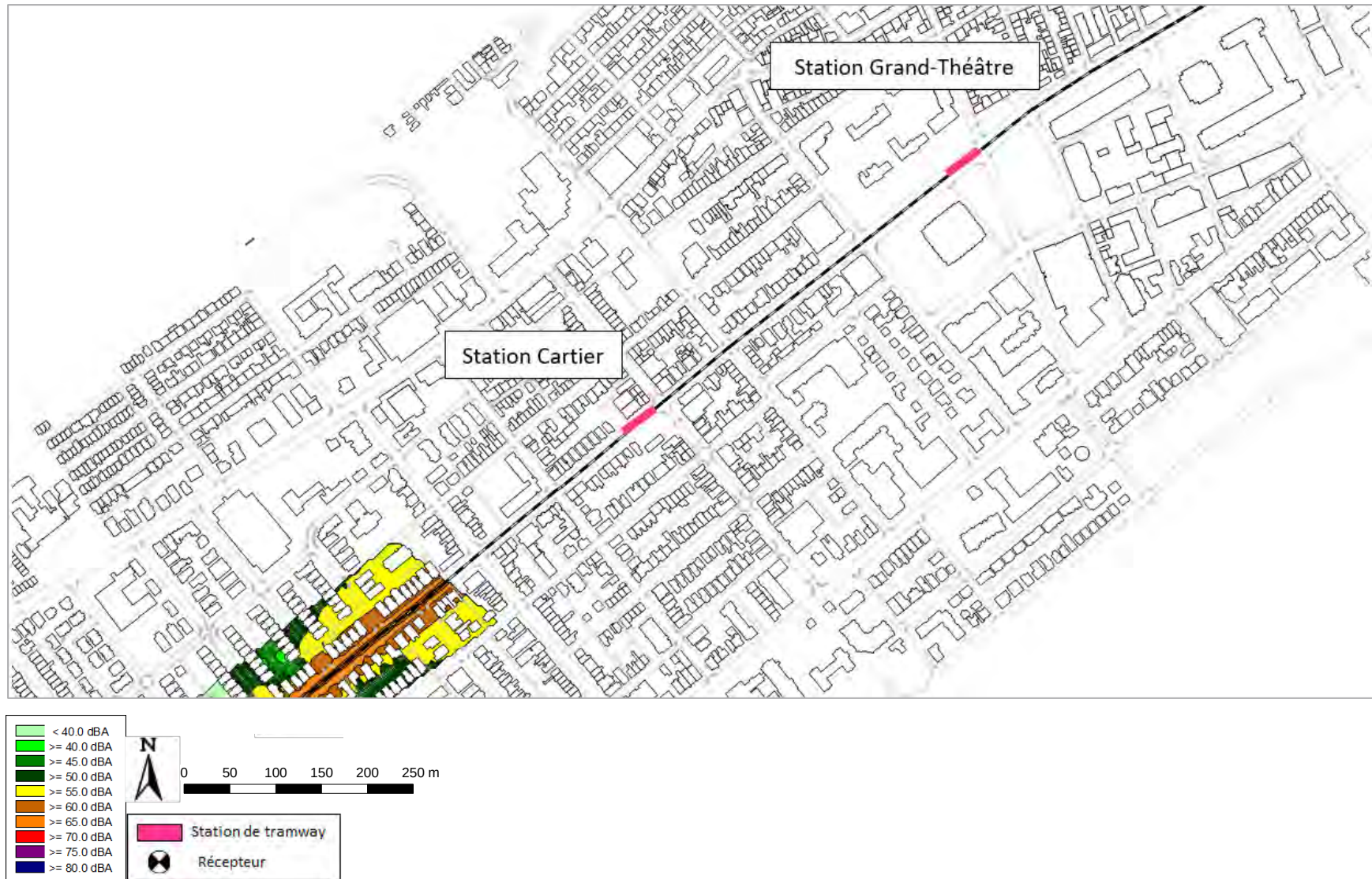


Figure 84 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Brown – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

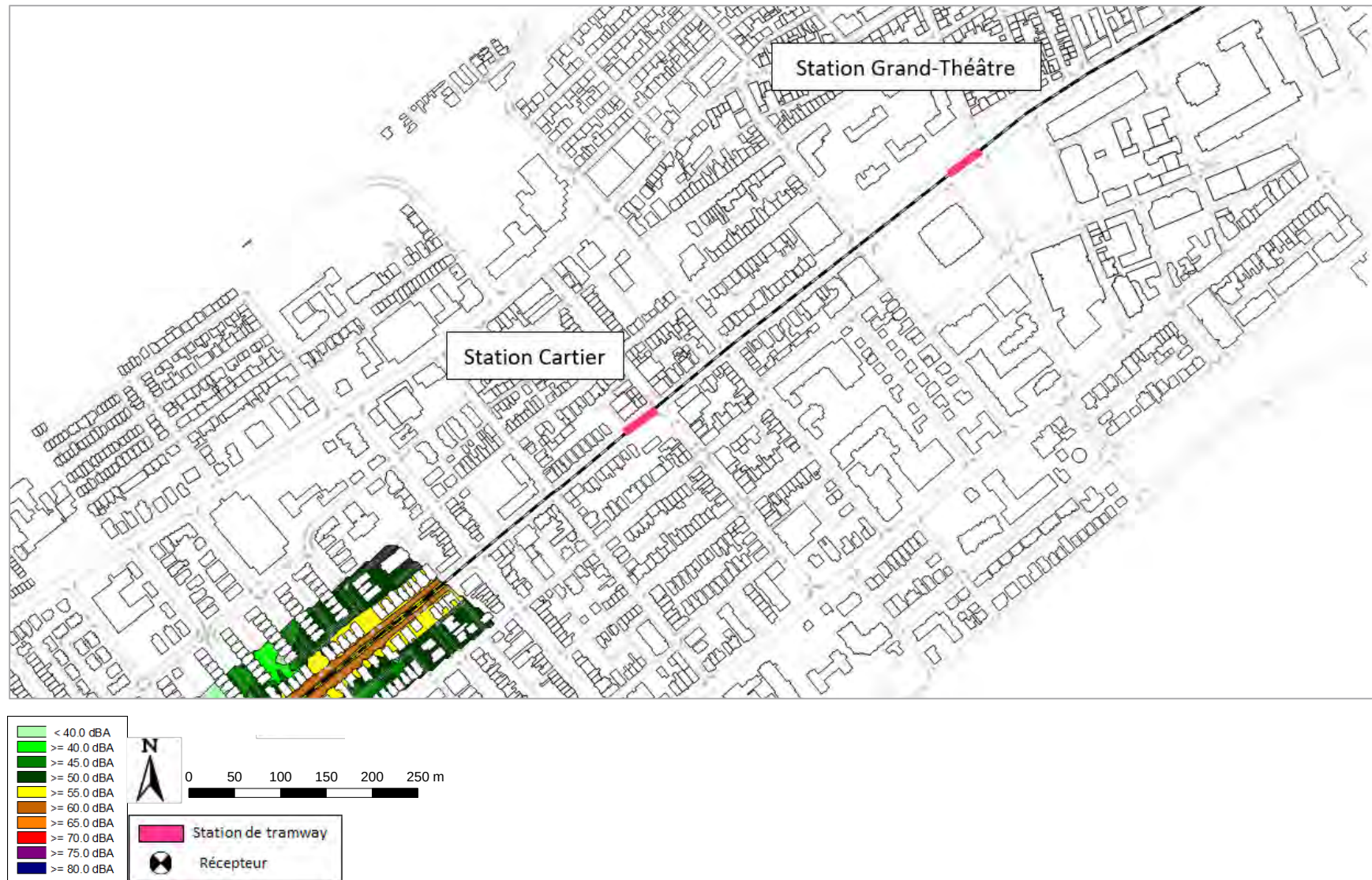


Figure 85 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Brown – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

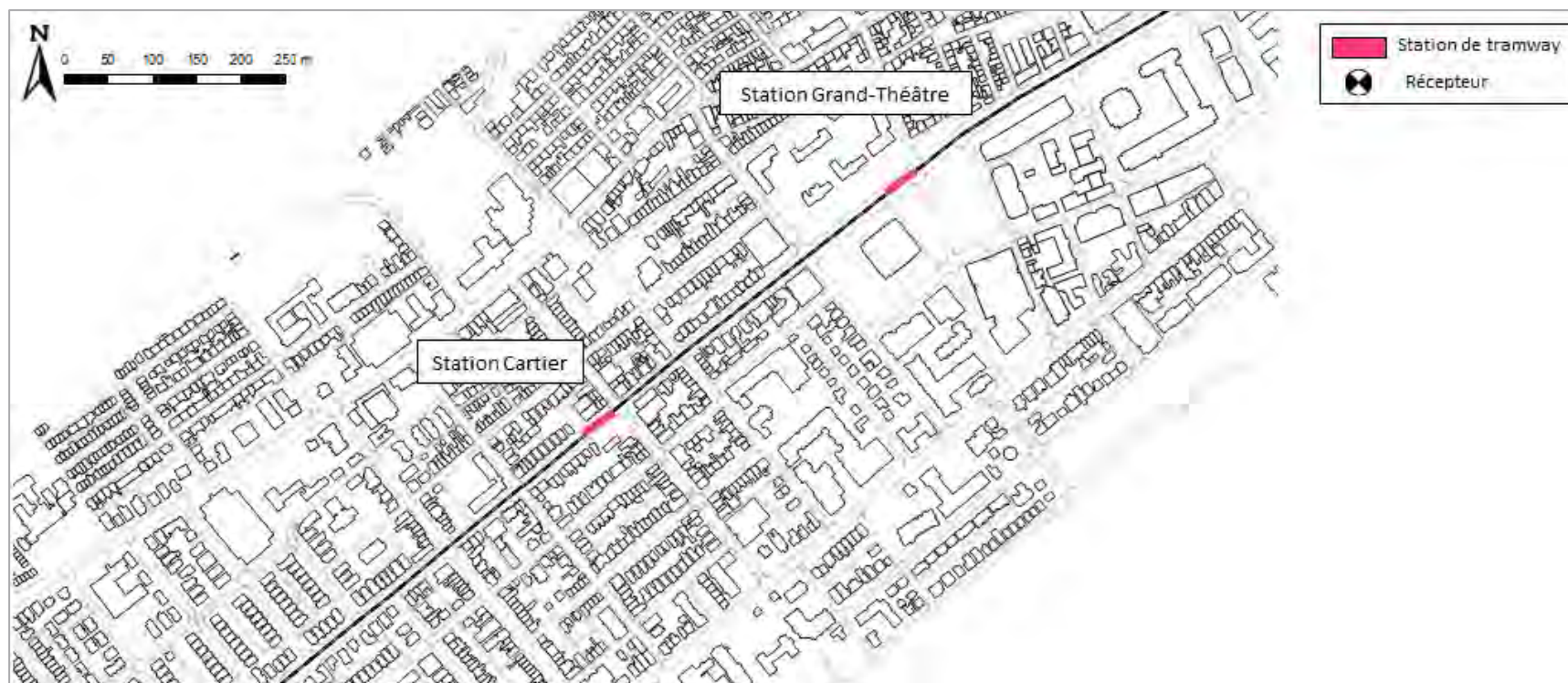


Figure 86 : Impact direct du projet - Secteur Brown – Échelle 1/4000^e

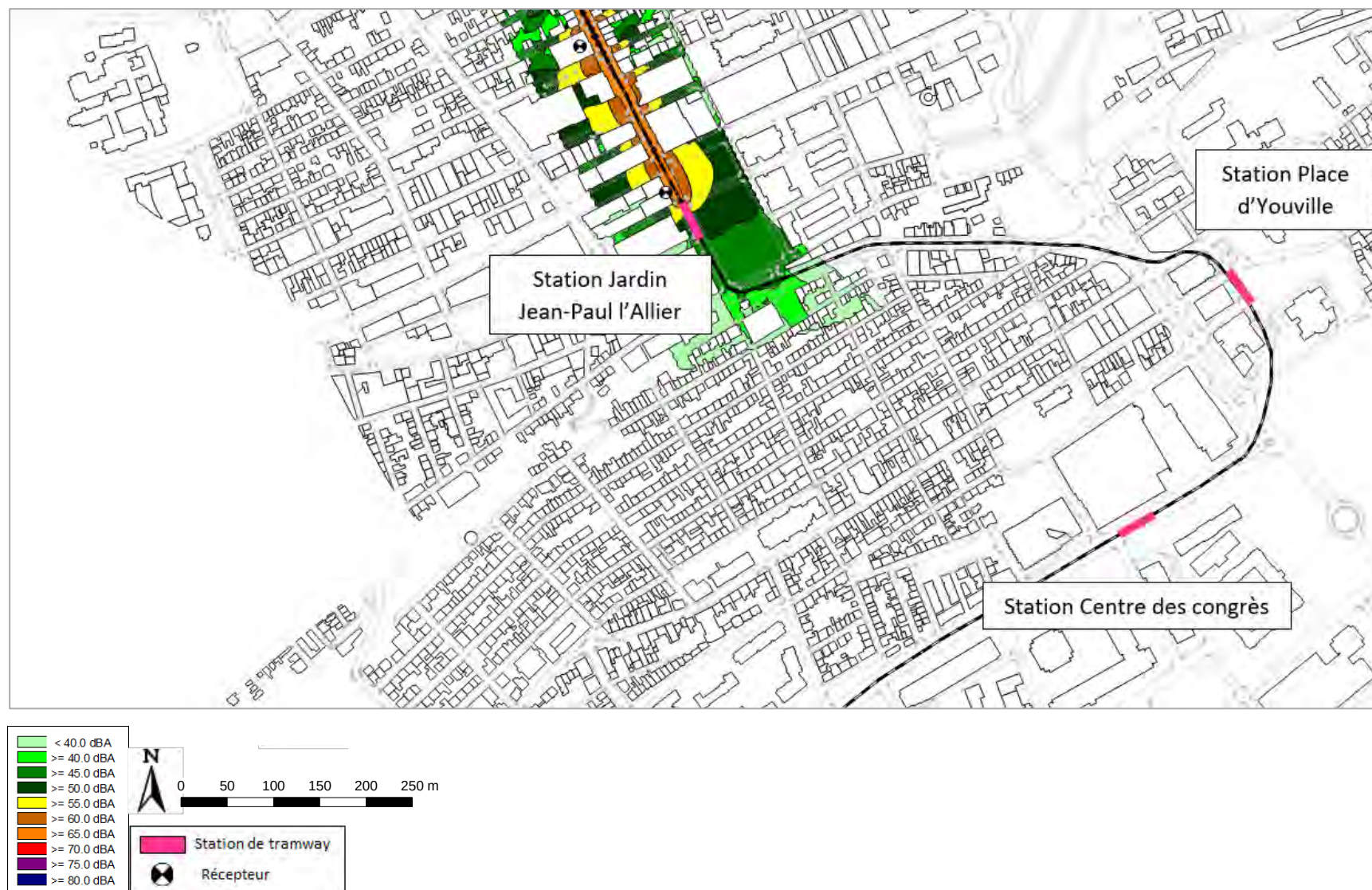


Figure 87 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

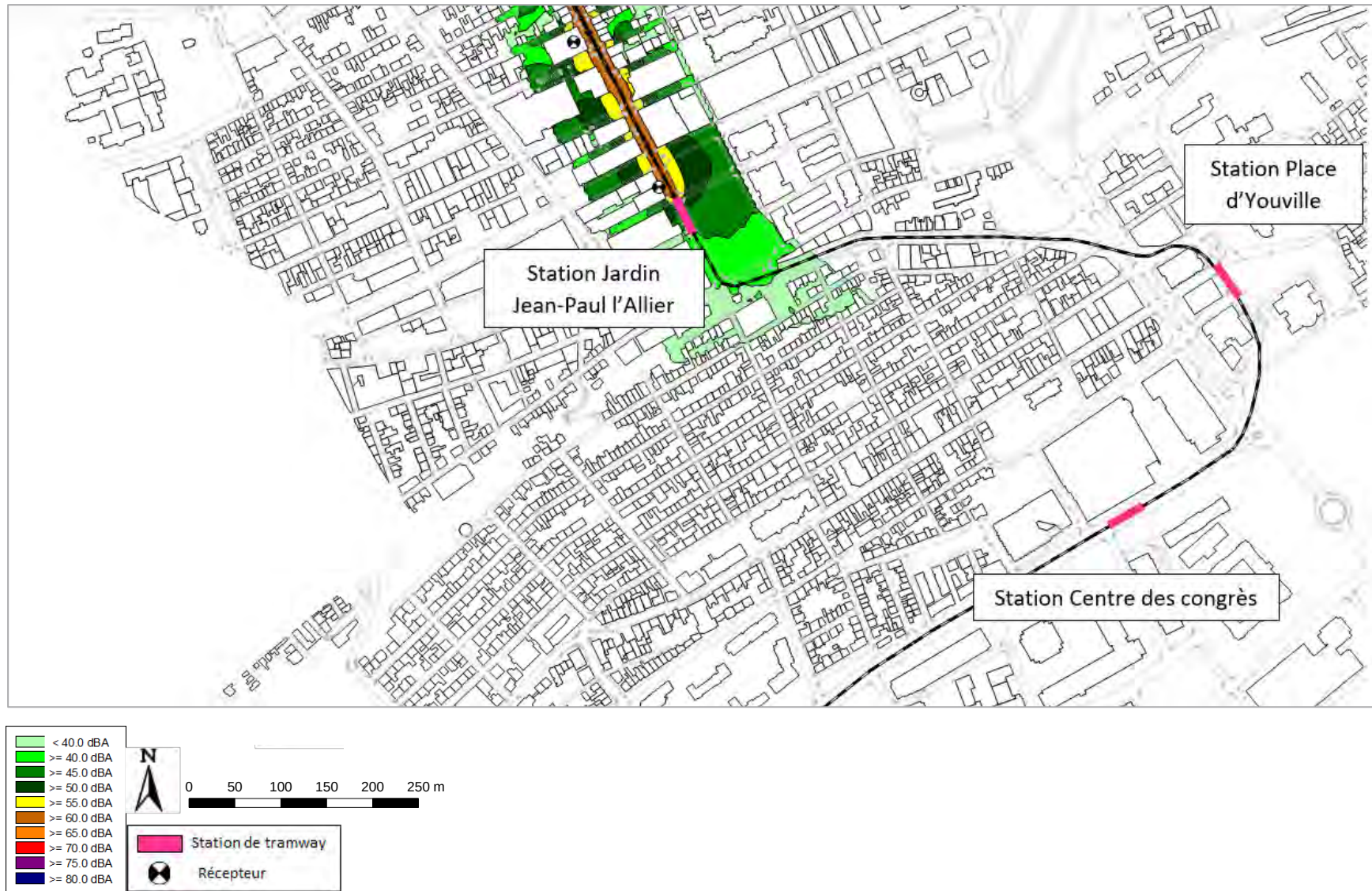


Figure 88 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

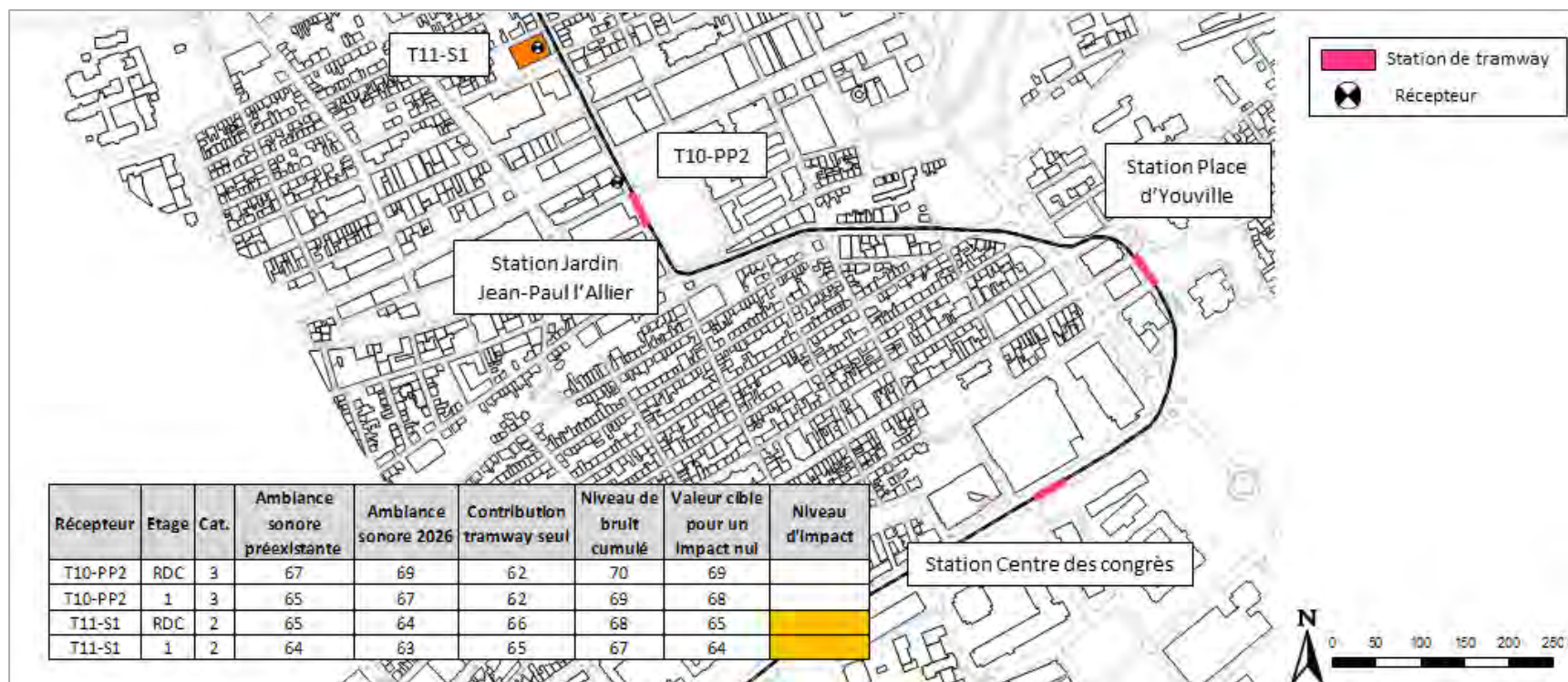


Figure 89 : Impact direct du projet - Secteur Centre-des-congrès – Échelle 1/4000°

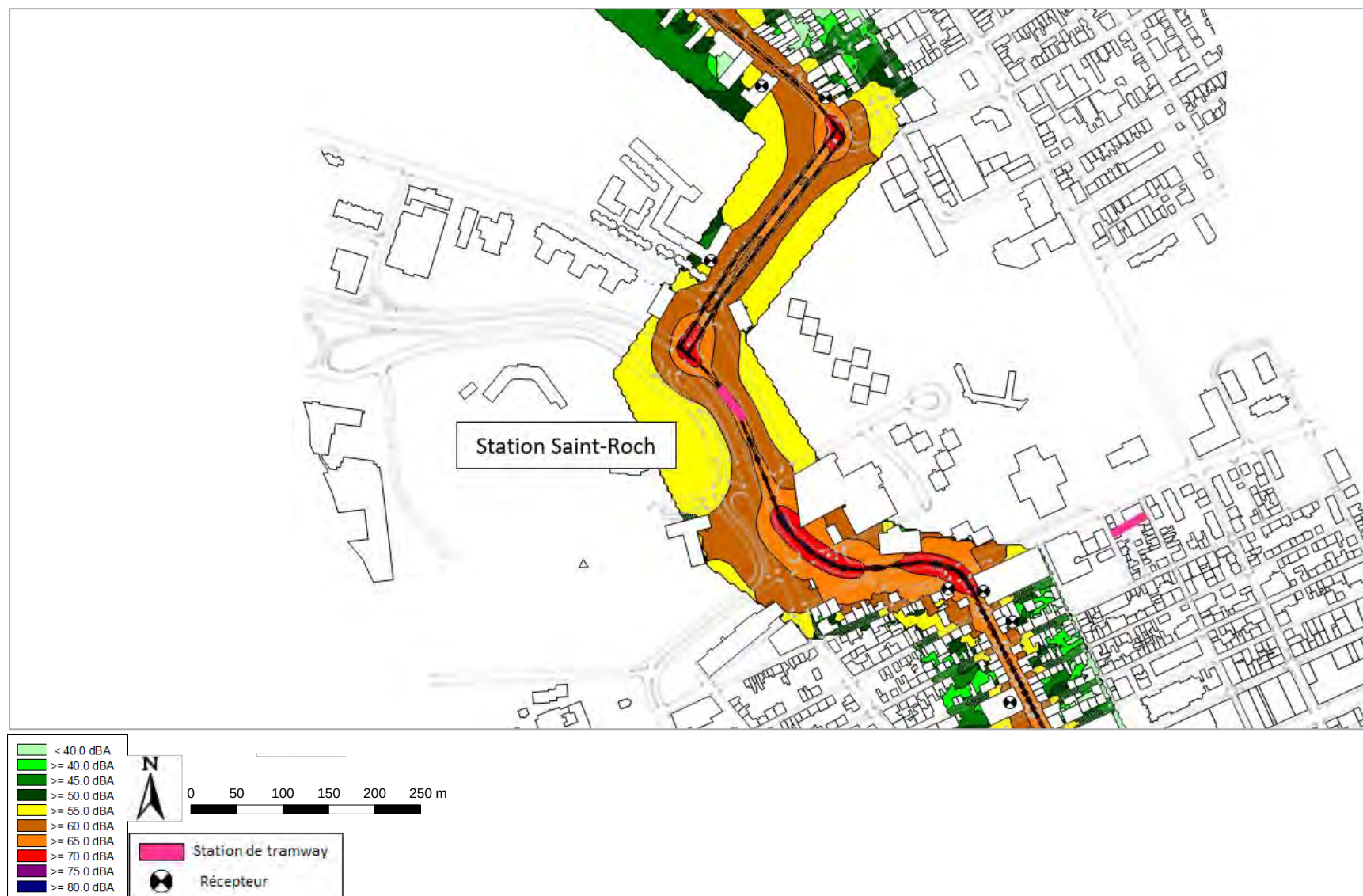


Figure 90 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

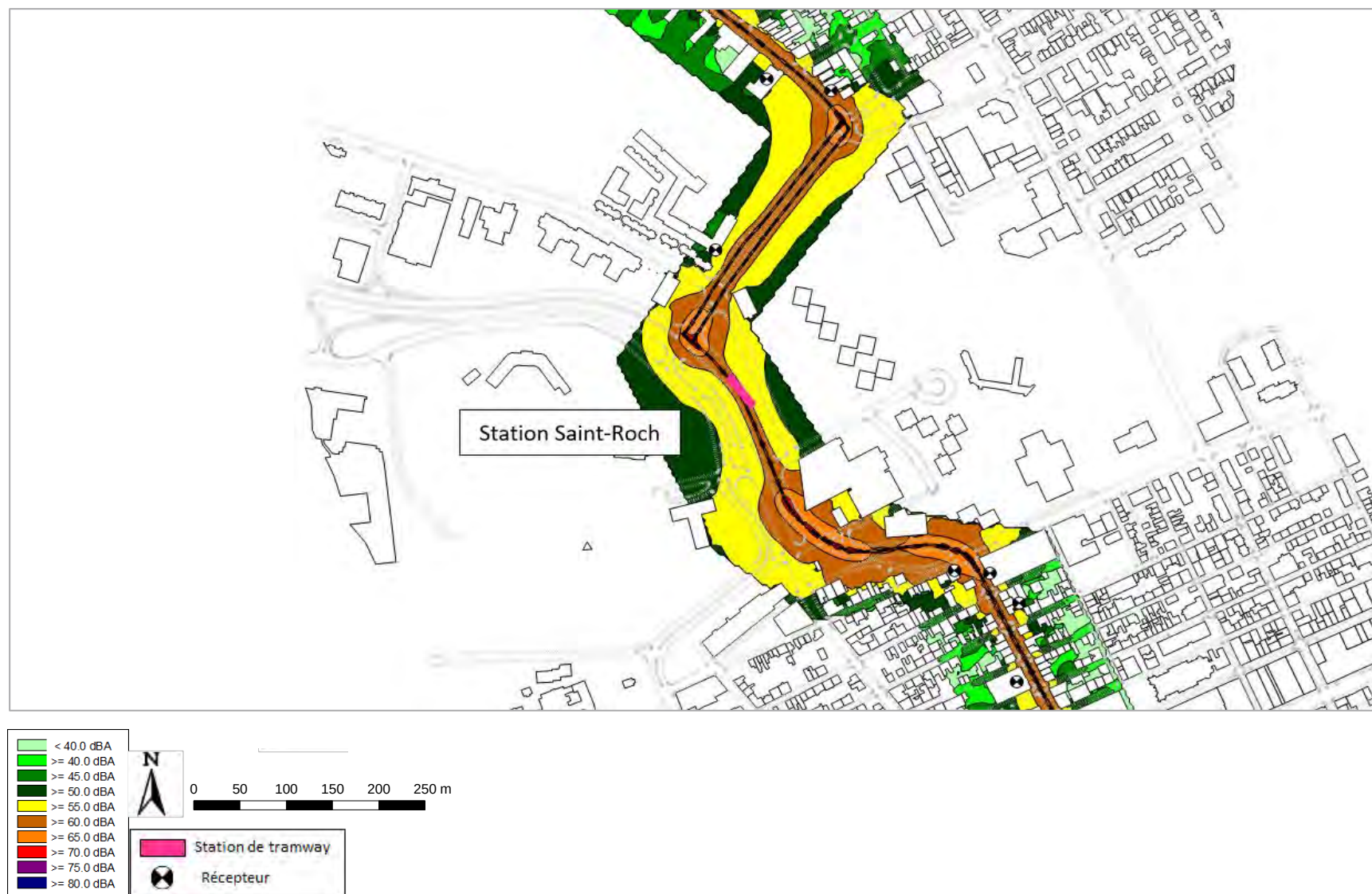


Figure 91 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

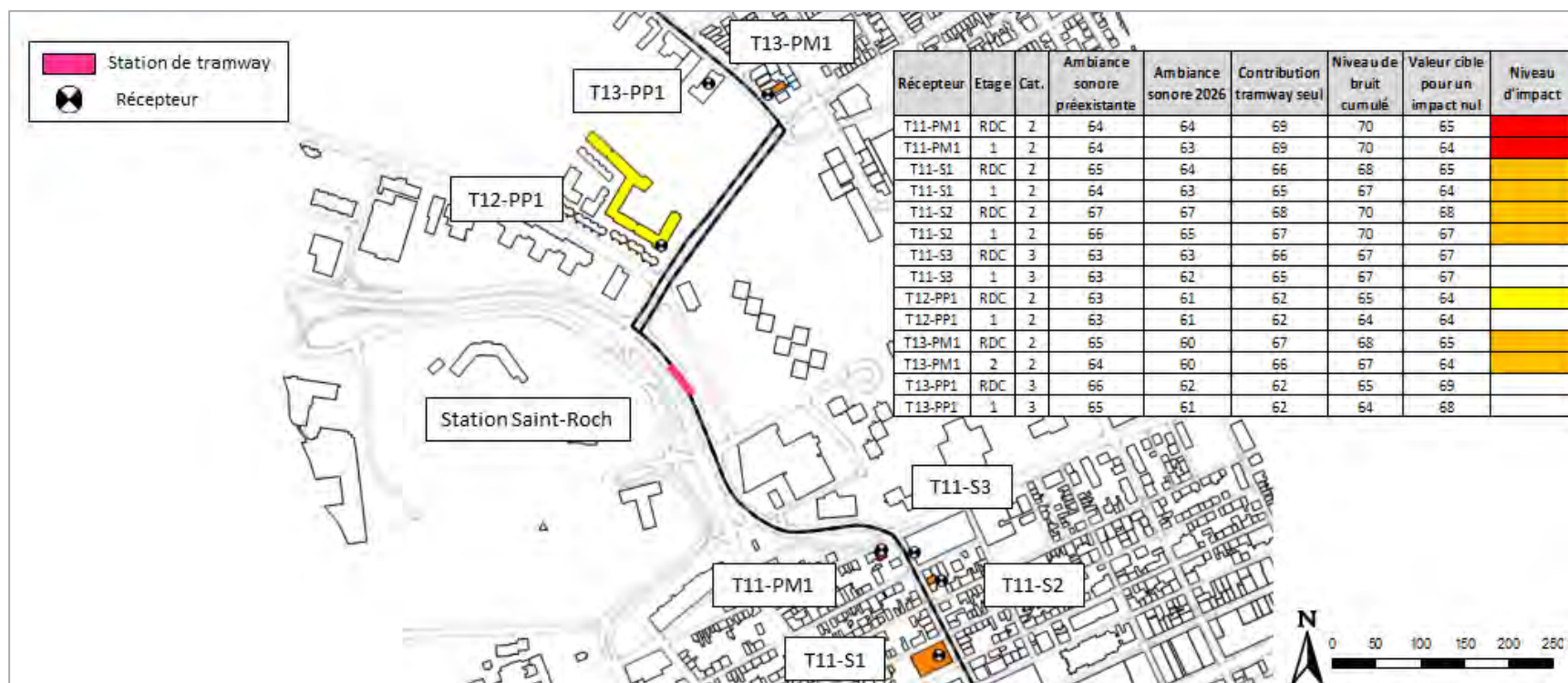


Figure 92 : Impact direct du projet - Secteur Saint-Roch – Échelle 1/4000^e



Figure 93 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Hôpital St-François d'Assise – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 94 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Hôpital St-François d'Assise – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

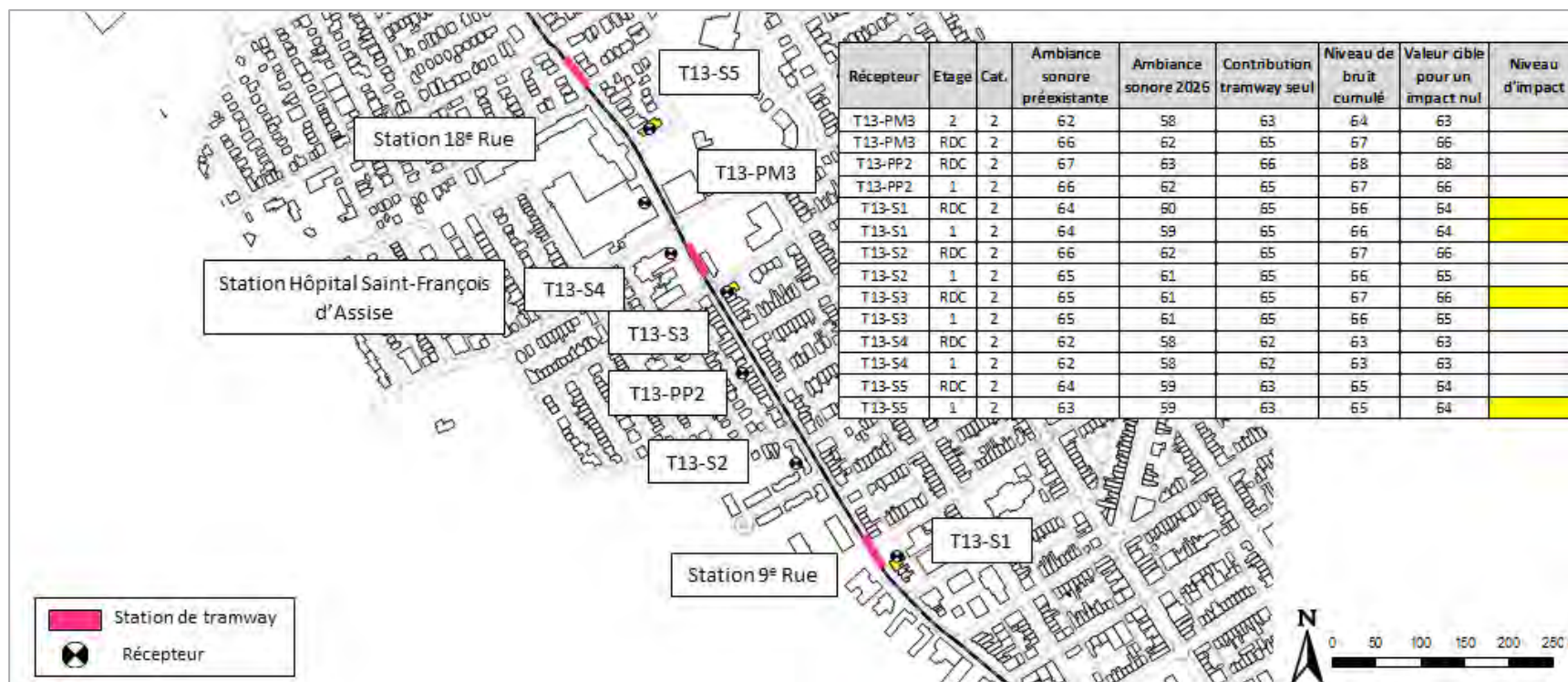


Figure 95 : Impact direct du projet - Secteur Hôpital St-François d'Assise – Échelle 1/4000^e



Figure 96 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 97 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur Patro Roc Amadour – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

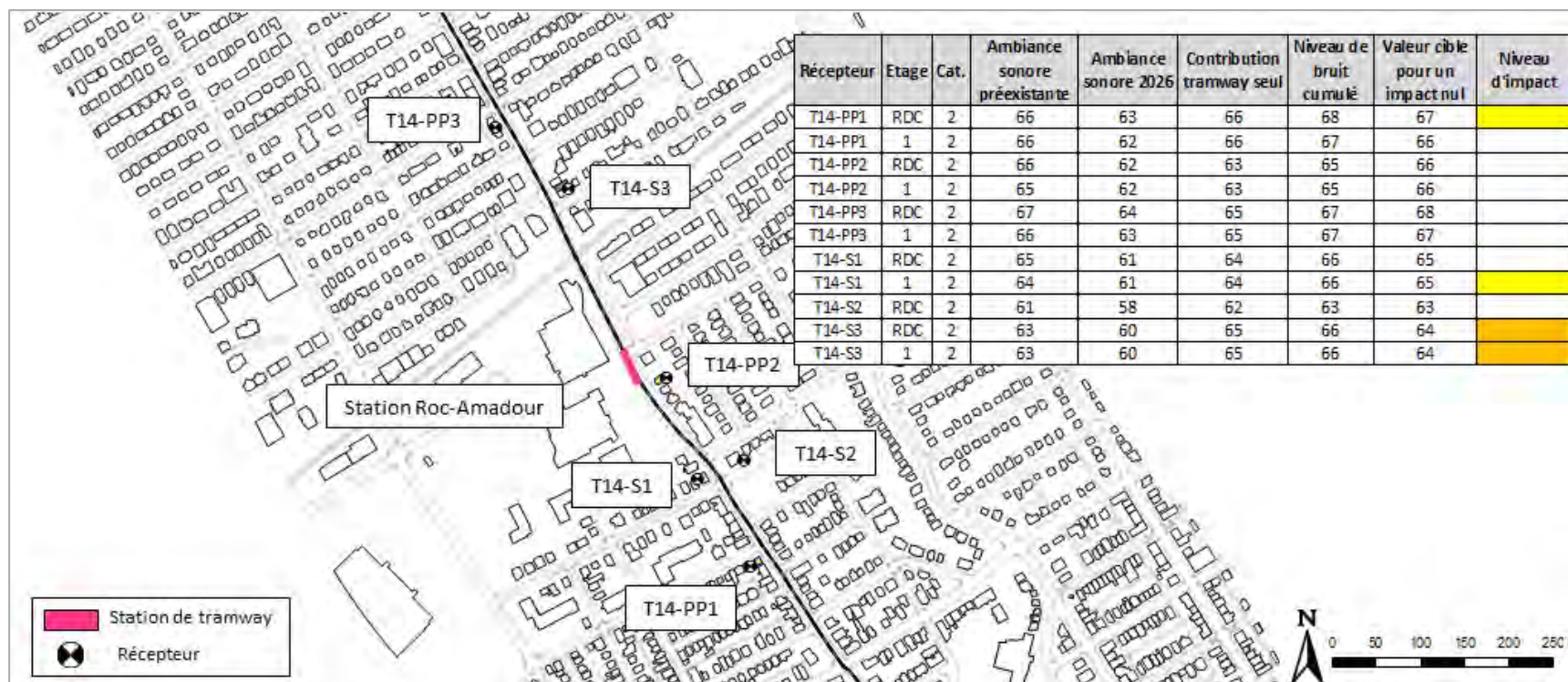


Figure 98 : Impact direct du projet - Secteur Patro Roc-Amadour – Échelle 1/4000^e

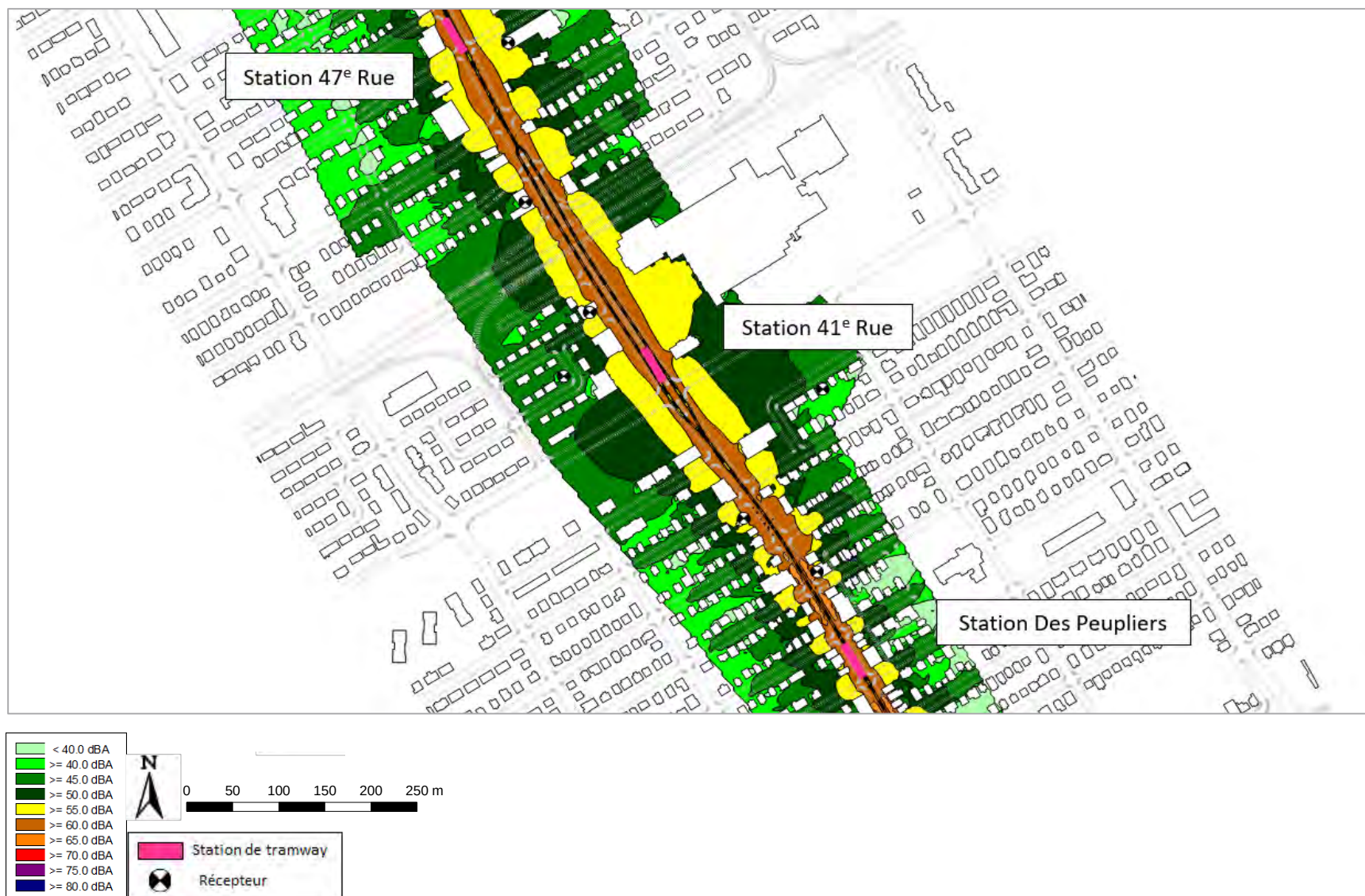


Figure 99 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 41^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 100 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 41^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

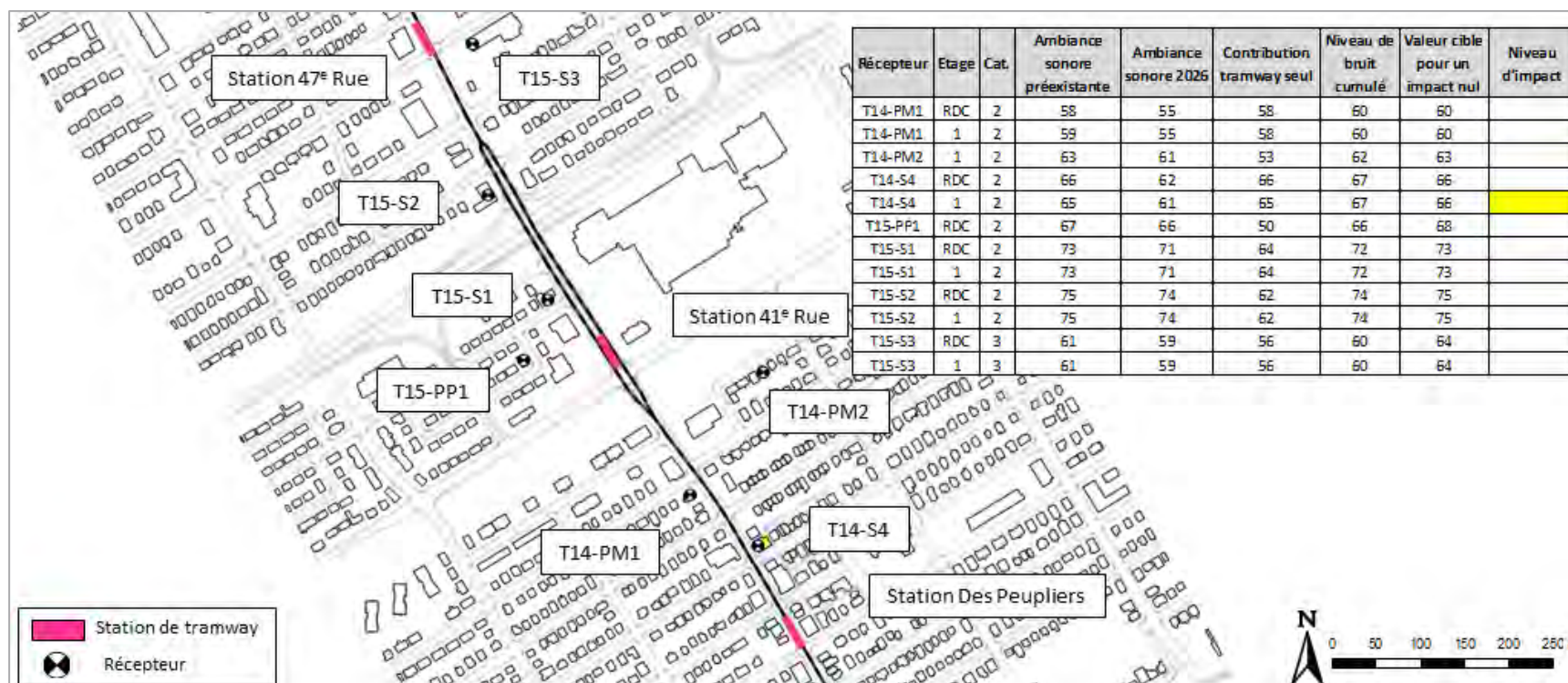


Figure 101 : Impact direct du projet - Secteur 41e Rue – Échelle 1/4000°

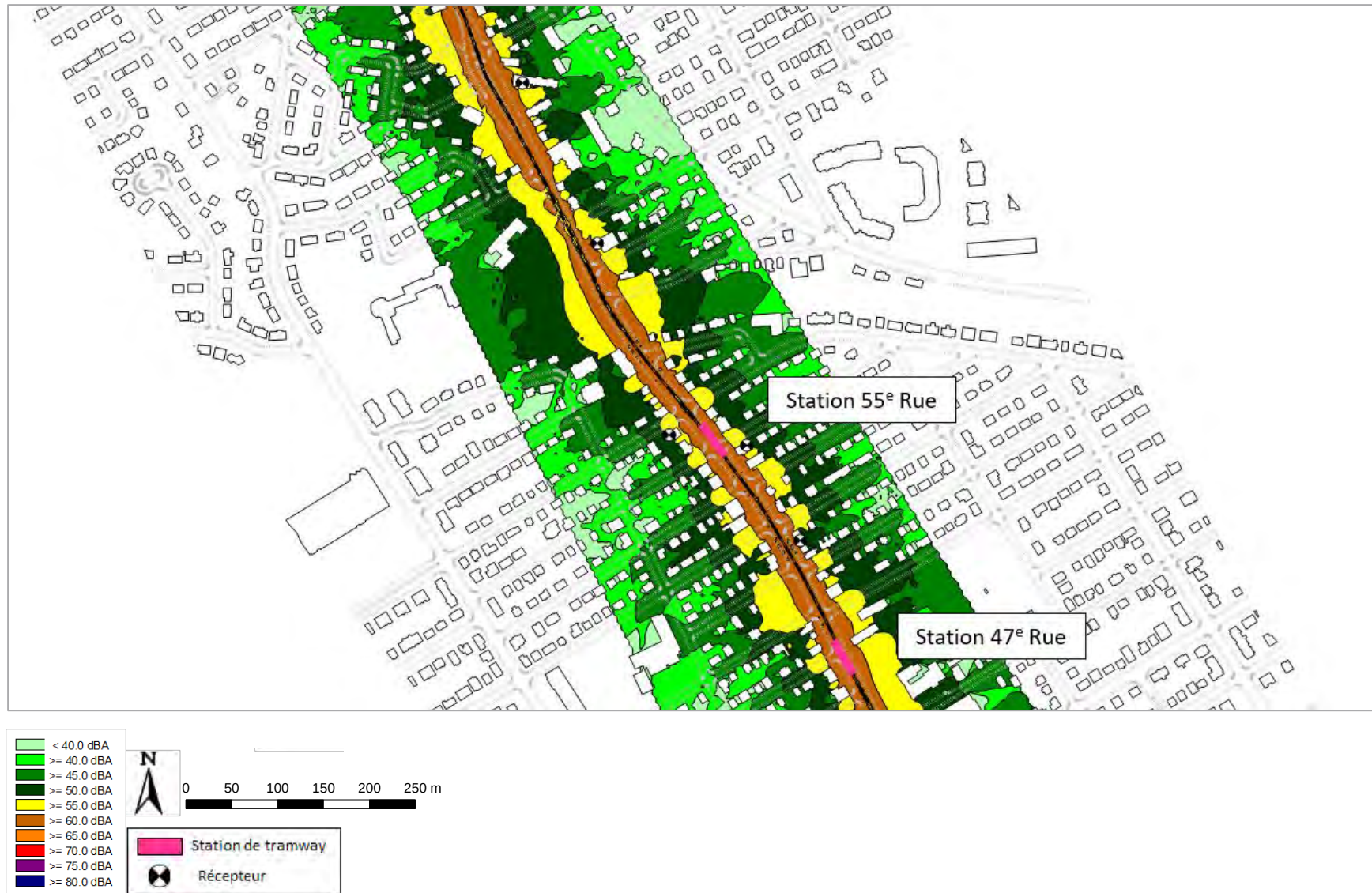


Figure 102 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 55^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 103 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 55^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

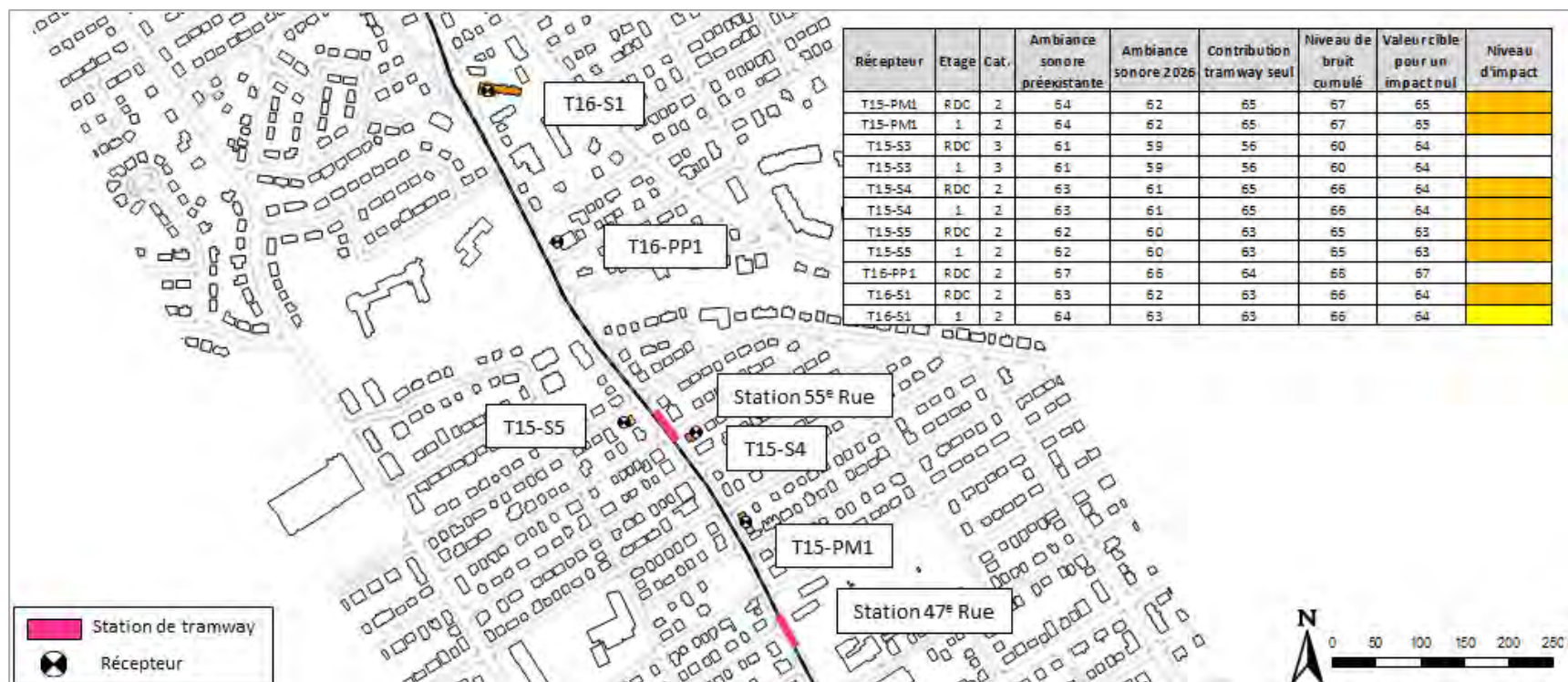


Figure 104 : Impact direct du projet - Secteur 55e Rue – Échelle 1/4000e

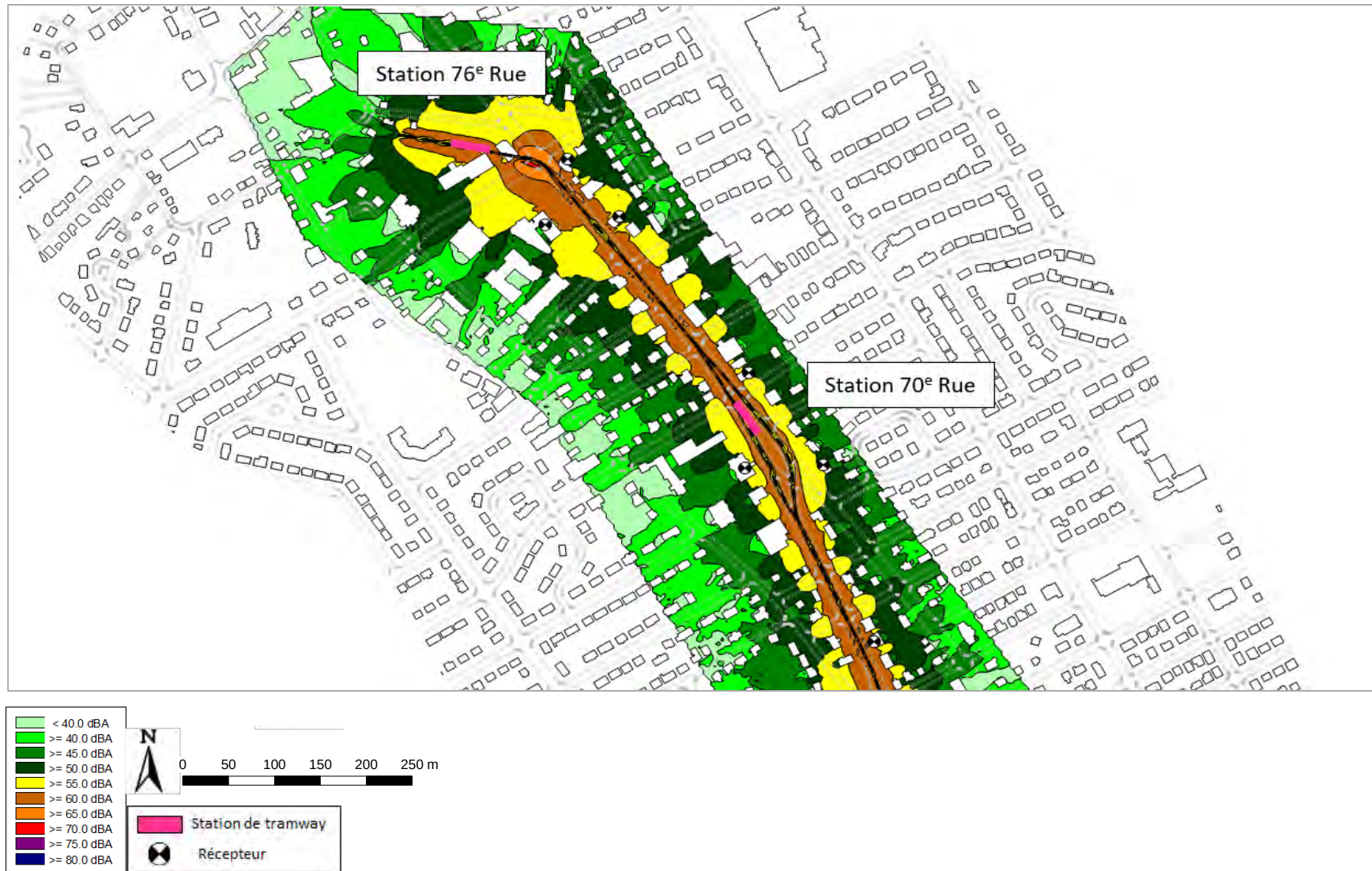


Figure 105 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 76^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 106 : Cartographie de bruit pour le tramway seul – Secteur 76^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

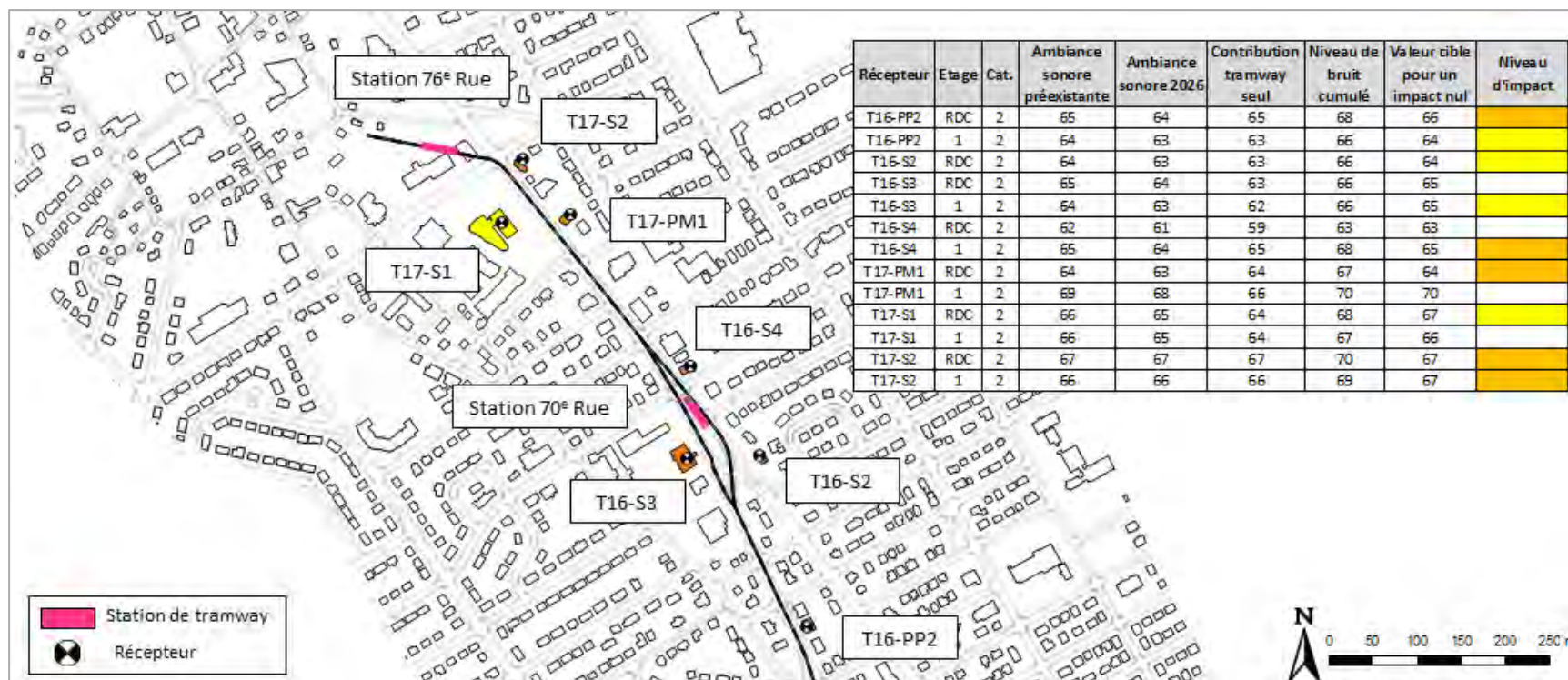


Figure 107 : Impact direct du projet - Secteur 76e Rue – Échelle 1/4000e

7.5 ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse des résultats, présentée dans la section précédente, montre que l'impact sonore dû à l'exploitation du projet, sans mesure d'atténuation, est généralement faible (dépassement inférieur à +2 dB) ou modéré (dépassement entre +2 dB et +5 dB).

Il y a absence d'impact sur environ 26 % de la ligne (longueur totale de 6,1 km), dans les secteurs suivants :

- Entre la station Le Gendre et le boulevard du Versant-Nord (sur une distance de 1,7 km);
- Chemin des Quatre-Bourgeois, entre la station Bégon et la station Roland-Beaudin (sur une distance de 1,7 km);
- Le long de l'avenue Laurier, entre la station de l'Église et la station Place Sainte-Foy (sur une distance de 1,4 km);
- Boulevard René-Levesque O, entre la station Myrand et la station Maguire (sur une distance de 500 m);
- La 1^{re} avenue, entre la station les Peupliers et la station 47^e Rue (sur une distance de 800 m).

Les résultats indiquent également que les zones où l'impact sonore est faible sont étendues sur une longueur totale 4,6 km. Des mesures de réduction de bruit à la « source », et non sur le chemin de propagation du bruit, sont donc à privilégier, permettant ainsi de réduire l'impact sur l'ensemble de la ligne.

Enfin, il existe des secteurs où l'étude montre une diminution à terme des niveaux de bruit par rapport à la situation actuelle. Ce résultat est la conséquence de la suppression de lignes de bus. En effet, le bruit généré au passage de rames de tramway est globalement plus faible que celui émis par le passage de bus thermiques. Ces secteurs sont les suivants :

- Chemin des Quatre-Bourgeois, entre la station Bégon et la station Roland-Beaudin (sur une distance de 1,5 km);
- Le long de l'avenue Laurier, entre la station de l'Église et la station Place Sainte-Foy (sur une distance de 1,4 km);
- La 1^{re} Avenue, entre la rue des Lilas O et la 47^e Rue O (sur une distance de 700 m).

Cela représente au total un linéaire de 3,6 km où les niveaux sonores ambiants en 2026 auront diminué.

Les simulations considérant une augmentation des niveaux d'émission sonore de +8 dB(A) dans les courbes de faible rayon pour prendre en compte l'effet du crissement, permettent de constater un dépassement des valeurs cibles dans beaucoup de secteurs près des courbes. Ce résultat montre la nécessité de prévoir la mise en place de mesures anti-crissement.

Dans cette configuration d'hypothèses, il existe au total deux secteurs où l'impact sonore du projet est fort, c'est-à-dire où les valeurs cibles sont dépassées de plus de 5 dB(A) :

Entre le boulevard du Versant-Nord et la station Pie-XII : l'ambiance sonore actuelle à l'arrière des logements situés le long de l'avenue Pie-XII et le chemin des Quatre-Bourgeois étant calme, des dépassements jusqu'à +12 dB(A) sont constatés. Ces forts niveaux de dépassement sont également liés à une vitesse du tramway relativement élevée (70 km/h);



Dans **la rue de la Couronne**, le trafic routier augmentant de +65 % en global, la contribution du bruit routier augmente d'environ 1 dB malgré la suppression du trafic d'autobus sur cette portion. L'augmentation du bruit total (tramway + routier) est entre 3 et 4 dB(A) selon le point considéré.

Les figures ci-dessous permettent de distinguer les différentes zones selon leur impact du projet par rapport au bruit préexistant.



Figure 108 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 1/15



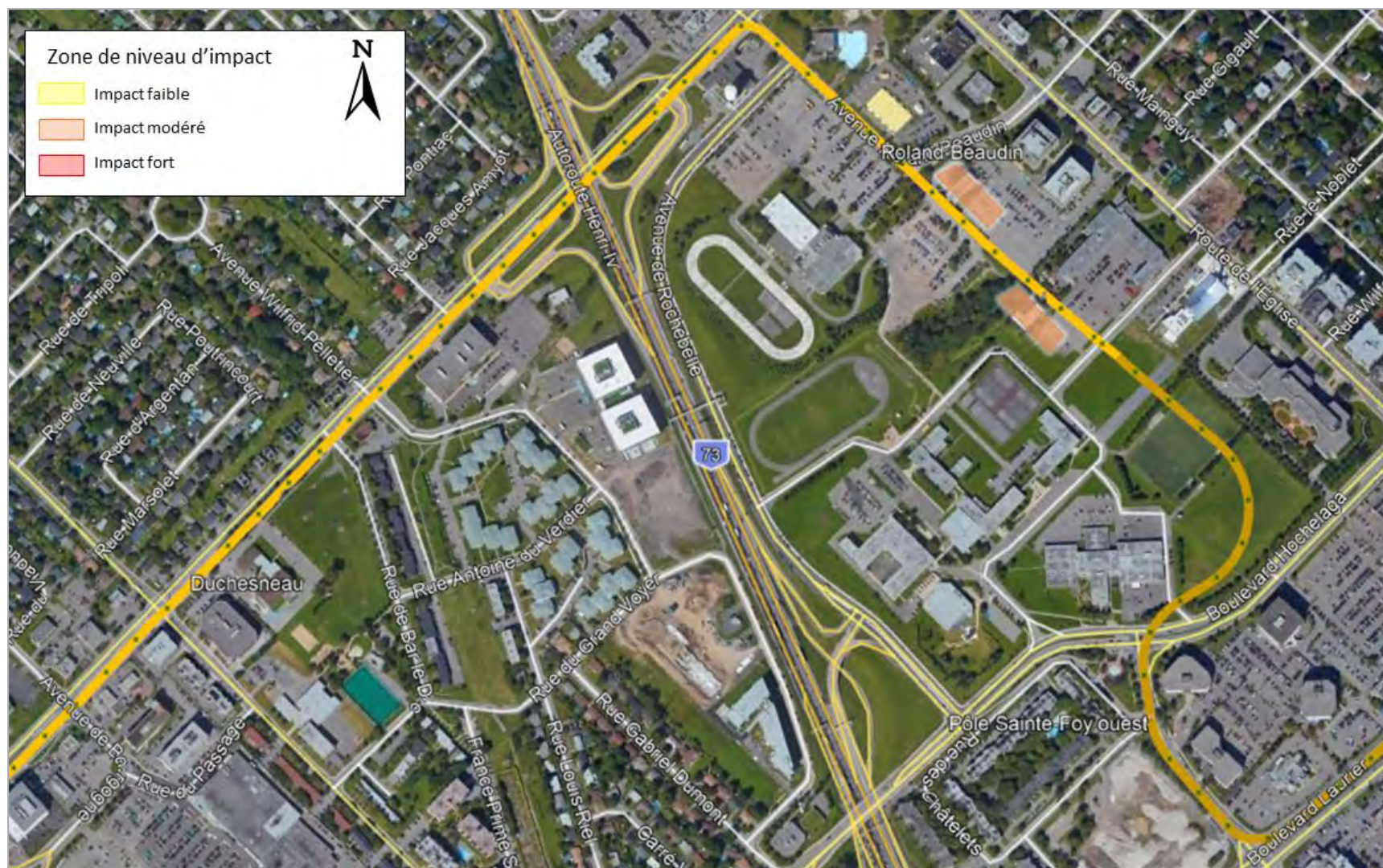


Figure 110 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 3/15



Figure 111 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 4/15



Figure 112 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 5/15



Figure 113 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 6/15



Figure 114 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 7/15

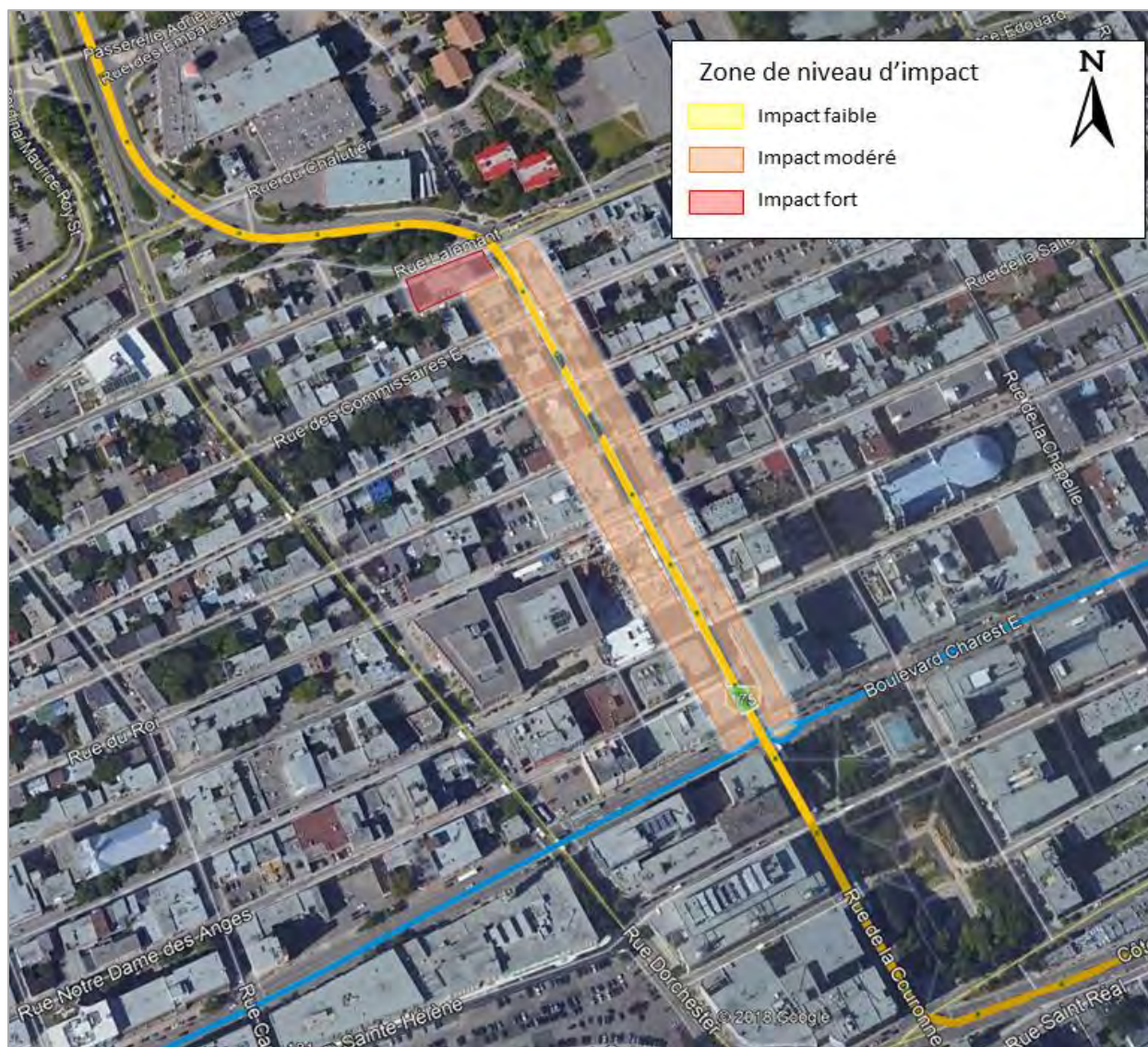


Figure 115 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 8/15



Figure 116 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 9/15



Figure 117 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 10/15



Figure 118 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 11/15

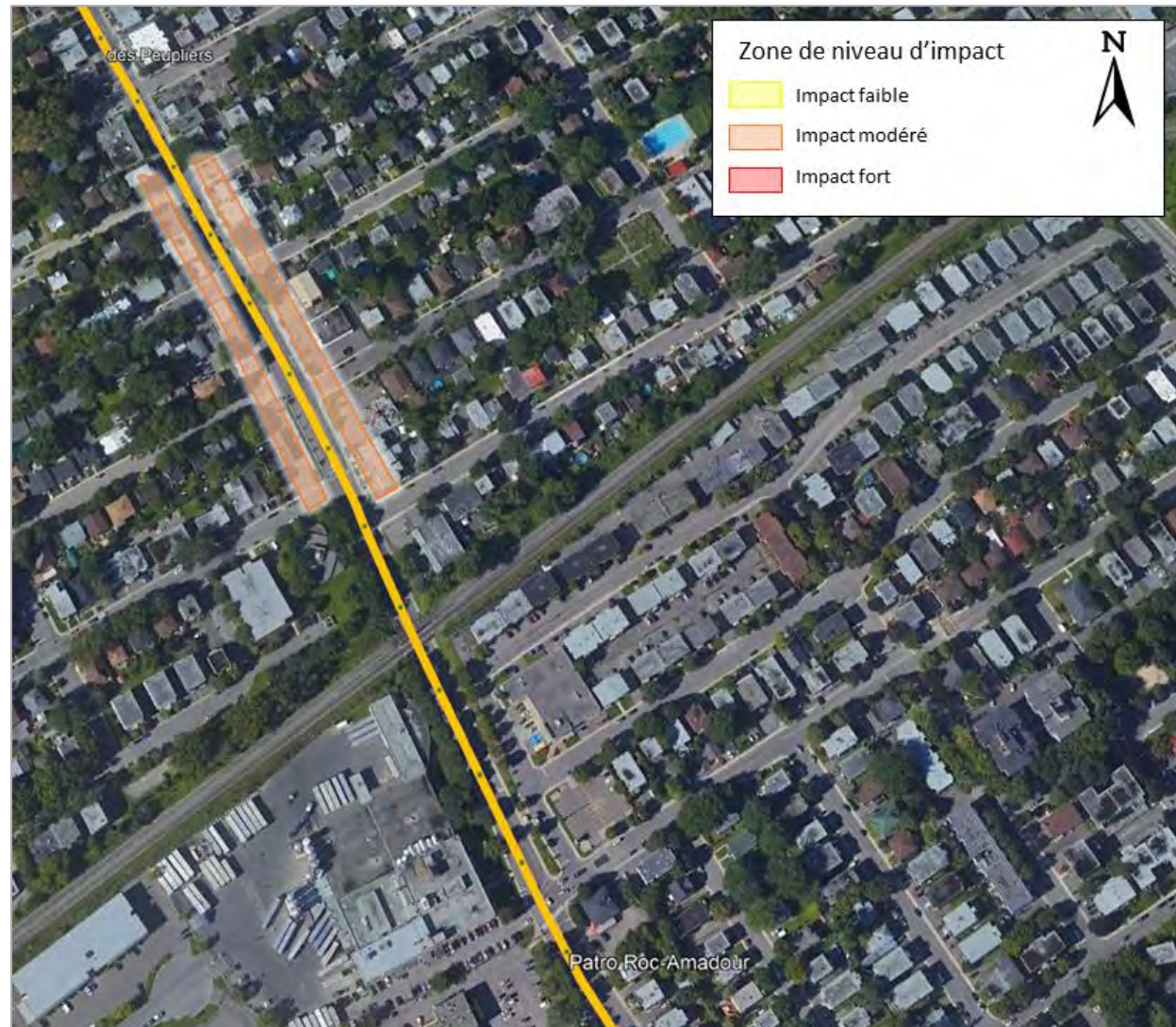


Figure 119 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 12/15



Figure 120 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 13/15



Figure 121 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 14/15



Figure 122 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact 15/15

8. MESURES DE RÉDUCTION DU BRUIT DU PROJET

8.1 DÉFINITION DE SOLUTIONS DE RÉDUCTION DE BRUIT APPROPRIÉES

Dans le cas où le niveau sonore projeté dépasse les critères qui ont été retenus lors de l'étude des documents de référence, des moyens de réduction de bruit doivent être mis en œuvre afin de respecter la limitation du niveau sonore maximal admissible et protéger les riverains. Il existe différents moyens de protections pour diminuer l'impact sonore d'un tramway. Le projet se situant en milieu urbain, il est préférable de réaliser un traitement acoustique à la source afin de limiter l'implantation de mesure de protection dans un environnement déjà très contraint.

Lubrification du matériel pour limiter le bruit de crissement

Comme il a été annoncé précédemment, un bruit de crissement peut apparaître lorsqu'un tramway franchit un virage serré (rayon inférieur à 300 m). Afin de limiter ce phénomène, il est conseillé de prévoir un système de lubrification adapté à la diminution du bruit de crissement. Ce système peut être soit embarqué, soit apposé au niveau des rails. Il a pour objectif de modifier le coefficient de frottement dû au contact roue-rail. La mise en pratique de cette solution peut permettre de diminuer le bruit à hauteur de 5 dB(A). Cette solution est conseillée aux vues du nombre important de virages serrés le long du tracé. Ce type de préconisation peut également bénéficier à d'autres disciplines transverses, notamment l'entretien des roues et du rail.

Entretien « acoustique » de la voie

Un entretien régulier de la voie, par la mise en place d'un plan d'entretien « acoustique » de la voie, permet de limiter les nuisances sonores produites par le contact entre la roue et le rail. Il s'agit d'intégrer au programme d'entretien de la voie, un meulage « acoustique » régulier de la voie assurant ainsi un niveau bas de rugosités de la tête du rail.

Il peut être envisagé de mettre en place un protocole de contrôle du spectre de rugosité acoustique de la voie et de fixer un gabarit seuil de rugosité déclenchant le besoin de meuler le rail.

Une telle action pourrait assurer un gain sur le niveau au passage du tramway de l'ordre de 1 à 2 dB(A) par rapport au niveau de bruit de passage retenu comme hypothèse initiale dans cette étude.

Mise en œuvre d'un écran antibruit

Pour les secteurs où des dépassements d'objectifs sont observés, à l'exception des virages, un dispositif d'un écran antibruit peut être envisagé. La disposition de ces écrans en bordure de tramway permet d'atténuer la propagation des ondes sonores, pour les sources localisées proche du sol (hors source se situant au-dessus du tramway). Le projet se situant en milieu urbain (à part entre la station Le Gendre et la station Pie-XII), il n'est pas envisagé de préconiser des écrans d'une hauteur de 3 m, mais plutôt d'environ 1,5 m de haut. La mise en place de cette solution permet d'obtenir un gain acoustique de l'ordre de 7-12 dB.

Ces écrans peuvent être réalisés en différents matériaux, afin de s'adapter aux besoins spécifiques de chaque projet : bois, béton, fibre de ciment, acier, plexiglas, etc. Ils peuvent être partiellement transparents ou végétalisés pour limiter leur impact visuel.



Figure 123 : Exemples d'écrans antibruit

A gauche : écran en bois de taille moyenne avec végétalisation (source : kokosystems.co.uk)

A droite : prototype d'écran de petite taille pour tramways en zone urbaine (source : Alexandre Jolibois (PhD 2013))

Une solution mixte combinant un merlon paysager avec un écran de faible hauteur peut également être envisagé. Pour une hauteur identique et une localisation identique, cette solution a la même efficacité qu'un écran acoustique. Cette solution mixte a pour objectif d'améliorer l'insertion paysagère et de limiter l'effet de confinement (sentiment d'enfermement). Les **Figure 124** et **Figure 125** illustrent la disposition d'un merlon dans le paysage, dont la première en présence d'un écran acoustique de faible hauteur.

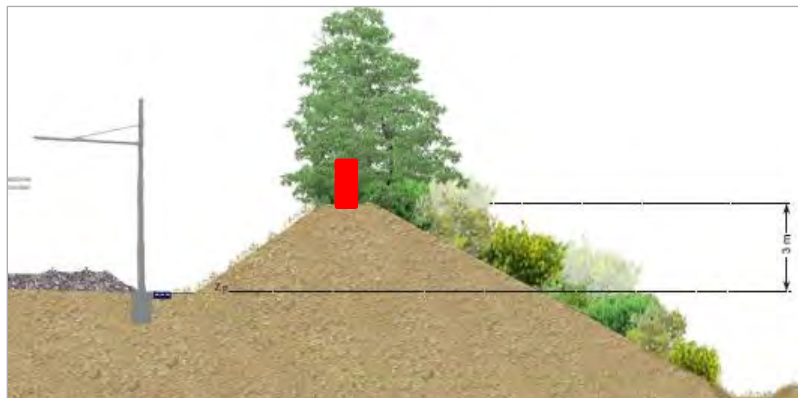


Figure 124 : Illustration d'une solution mixte (combinaison merlon avec un faible écran acoustique) proche d'une voie



Figure 125 : Illustration d'une vue d'un paysage en présence d'un merlon

Mise en œuvre de revêtements de plateformes absorbants

Pour rappel, le revêtement de la plateforme est également un facteur important sur l'impact de l'ambiance sonore. Dans les cas, où le revêtement est considéré comme réfléchissant, il peut être envisagé de le remplacer par un revêtement ayant des propriétés acoustiques absorbantes, ce qui permettrait de réduire les niveaux de bruit calculés d'au moins 2 dB(A).

Du fait des conditions climatiques hivernales, il n'est pas privilégié de préconiser un revêtement ballast ou gazon bien que ces types de revêtements permettent un gain de 2 à 4 dB(A).



Figure 126 : Exemples de revêtements de plateformes : gazon et ballast

Source : Wikipédia

Choix du matériel roulant

Le matériel roulant n'étant pas encore choisi, il peut également être suggéré que le spectre d'émission de celui-ci soit inférieur à celui qui a été proposé dans ce rapport. Le matériel roulant dispose de spécifications acoustiques adaptées.

8.2 LOCALISATION DES MESURES DE RÉDUCTION DE BRUIT DU PROJET

Différentes solutions de mesures de réduction de bruit ont été mises en place pour respecter les valeurs cibles.

La première solution proposée est de diminuer l'émission sonore à la source, ce qui permettrait une réduction de bruit sur l'ensemble du tracé. On préconise de diminuer le bruit du matériel roulant de 2 dB afin d'obtenir un niveau de bruit au passage à 40 km/h de 76 dB sur sol réfléchissant à 7,5 m, au lieu de 78 dB dans la configuration précédente. Afin d'atteindre ce niveau de bruit au passage, une réduction d'émission sonore de 1 dB doit être appliquée au matériel roulant, conjuguée avec une diminution de rugosité de rail pouvant apporter une diminution supplémentaire de 1 dB. Aussi, un entretien régulier des rails doit être mis en place.

Une lubrification du rail au niveau des virages dont le rayon de courbure est inférieur à 100 peut également être envisagée. Lorsque cette solution est mise en place, l'apparition du bruit de crissement se fait plus rare, ce qui se traduit sur une journée par un facteur correctif moins important passant de +8 dB à +3 dB.

L'implantation d'un écran antibruit a été nécessaire entre le boulevard du Versant-Nord et la station Pie-XII. Un écran a été modélisé le long des deux côtés de la ligne. Le coefficient d'absorption de cet écran a été fixé à $\alpha=0,6$. La hauteur des écrans est de 2,5 m par rapport à la ligne, sauf entre le boulevard Versant-Nord et la station Sainte-Foy (au sud de la ligne), la hauteur des écrans est de 3 m. La **Figure 125** illustre l'emplacement des écrans antibruit (en rouge).



**Figure 127 : Localisation des écrans antibruit
(en rouge)**

La figure suivante présente les résultats d'un calcul de niveaux de bruit avec écrans de 2,5 m en coupe verticale afin d'illustrer leur efficacité.



Figure 128 : Illustration des effets d'un écran antibruit de 2,5 m, en coupe verticale

Ces différentes préconisations permettent d'obtenir les résultats présentés dans la section suivante.

8.3 RÉSULTATS DE SIMULATION AVEC PRISE EN COMPTE DES MESURES DE RÉDUCTION DE BRUIT

Les résultats de l'étude d'impact sans mesures de réduction de bruit ont montré que le projet avait majoritairement un impact faible à modéré le long du tracé, et que peu de bâtiments étaient fortement affectés. Afin de respecter les objectifs de seuils acoustiques, des mesures de réduction du bruit à la « source » ont été appliquées, et dans les secteurs où ces mesures ne suffisent pas, des mesures de protections phoniques (murs antibruit) ont été mises en place. Après prise en compte de ces mesures de mitigation, les simulations montrent que le projet n'a pas d'impact sonore selon les critères du guide « FTA » sur la majeure partie la ligne (95 %). Il est à noter que le niveau de bruit ambiant (toutes sources de bruit prises en compte) diminue même assez sensiblement dans certains secteurs, représentant un linéaire cumulé de 4,8 km (soit 21 % de la longueur totale).

En marge de ces résultats, il reste cependant trois bâtiments et un secteur où l'ambiance sonore risque d'être augmentée sensiblement.

Un bâtiment résidentiel (T3-S2) situé dans l'avenue McCartney le long du corridor de transport d'énergie est légèrement affecté, à son premier étage, malgré la présence d'un écran antibruit de 3 m de haut devant le bâtiment. Cet impact est lié à la source en toiture. Les autres étages ainsi que les bâtiments proches ne sont pas affectés.

Pour rappel, dans notre modèle le tramway est représenté avec deux sources distinctes, une située à 0,5 m de hauteur par rapport au sol et une seconde à 4 m. La seconde source représente les équipements situés en hauteur. Ces sources sont modélisées à une hauteur supérieure à celle d'un tramway (maximum 3,5 m); or la norme NMPB-08 ne permet de renseigner que des niveaux de sources à 3 différentes hauteurs (0, 0,5 m et 4 m). Ne connaissant pas le futur matériel roulant et notamment les bruits de ces équipements, l'hypothèse qu'un tiers de son énergie émise provenait de la partie haute du tramway a été privilégiée.

Cette source étant positionnée à une hauteur supérieure à celle de l'écran antibruit, celui-ci n'a donc que peu d'effet sur le trajet direct des ondes sonores émises par cette source.

Pour ces raisons, il est possible de considérer qu'il n'y a pas de niveau d'impact significatif pour ce bâtiment. Ce résultat montre qu'il faudra être vigilant sur les niveaux de bruit émis par les équipements en toiture du tramway, en plus du niveau du bruit au passage à 7,5 m pour différentes vitesses.

De plus, à la vue des conditions climatiques assez rudes durant l'année, les équipements de ventilation risquent de ne pas être standards. Il faudra donc porter une attention particulière sur ces sources.

Le second bâtiment affecté (T4-PP1) situé à proximité d'une courbe prononcée à l'intersection du Chemin des Quatre-Bourgeois et de l'avenue Pie-XII, est modérément affecté (dépassement de +3 db environ). Sur la **Figure 138**, la source acoustique produite par l'effet de crissement a un impact direct sur la façade de ce bâtiment. La mise en place du mur antibruit, proche de ce bâtiment, permet uniquement de le protéger du tramway circulant derrière le bâtiment. Il est vraisemblable qu'un renforcement de l'isolation acoustique de la façade exposée soit nécessaire pour atteindre la valeur cible. Le bâtiment étant placé dans un carrefour, il est difficilement envisageable d'appliquer une autre mesure de réduction de bruit. Cet aspect sera étudié lors de la phase d'ingénierie de détails.

Un troisième bâtiment résidentiel situé à proximité d'une courbe prononcée à l'intersection du boulevard Henri-Bourassa et de la 76^e Rue E est faiblement affecté (dépassement inférieur à +2 dB). Un programme d'entretien régulier des rails grâce à des opérations de meulage « acoustique » des rails plus régulier dans le temps (dans ce secteur) devrait permettre de respecter l'objectif de seuil. Cet aspect sera étudié lors de la phase d'ingénierie de détails.

Une zone (rue de la Couronne) est affectée faiblement par le projet, en raison notamment d'une augmentation du trafic routier (+65 %) et ce, malgré la suppression du trafic des autobus sur cette portion. Le niveau sonore émis par le tramway est inférieur à celui produit par le trafic routier. L'augmentation du bruit routier est de +1 dB et le bruit ambiant total est, quant à lui, augmenté entre 1 et 2 dB.

On peut également émettre l'hypothèse qu'il y aura d'ici l'ouverture de la ligne, un renouvellement du parc de bus thermiques par des bus non thermiques (exemple électrique). Aujourd'hui, la réglementation écologique tend vers une amélioration de la qualité de l'air, mais également de la limitation de la pollution sonore. Par conséquent, les prochains véhicules auront des critères plus stricts au niveau des émissions sonores. Pour ordre de grandeur, la puissance acoustique des bus non thermiques est 10 dB inférieure par rapport à celui d'un bus thermique.

La **Figure 129** résume le niveau d'impact sonore du projet avec la mise en place des mesures de réduction de bruit.

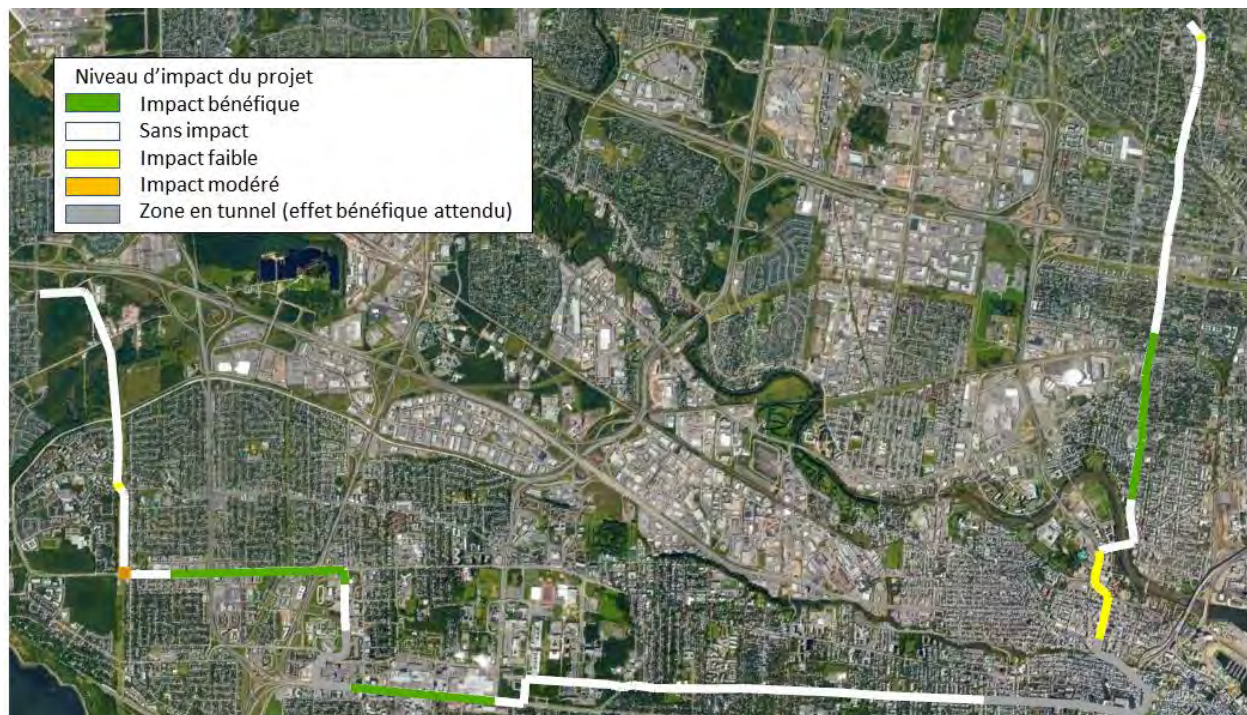


Figure 129 : Localisation des zones affectées et identification des niveaux d'impact avec mesures de réduction de bruit

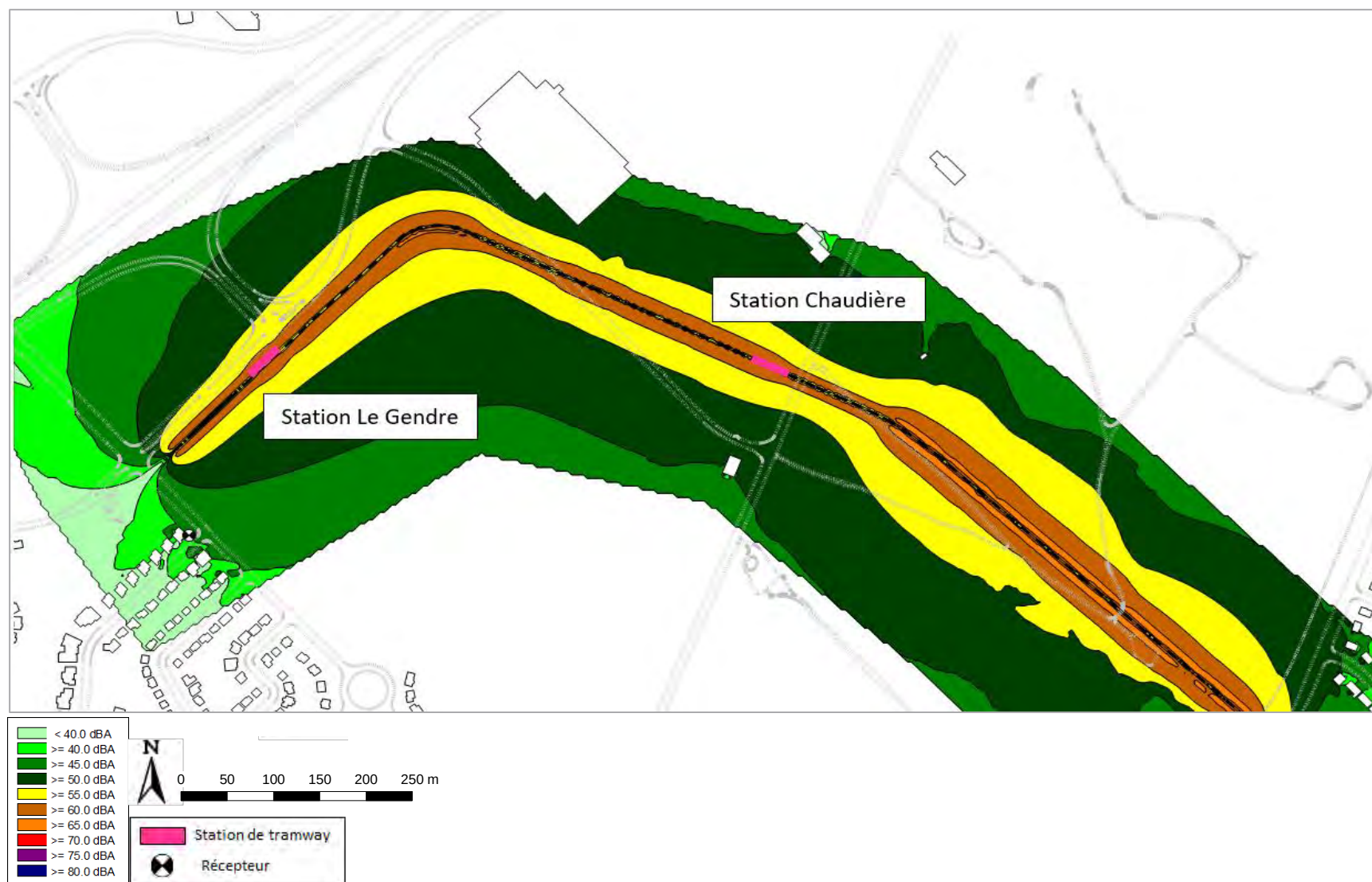


Figure 130 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000



Figure 131 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Le Gendre – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

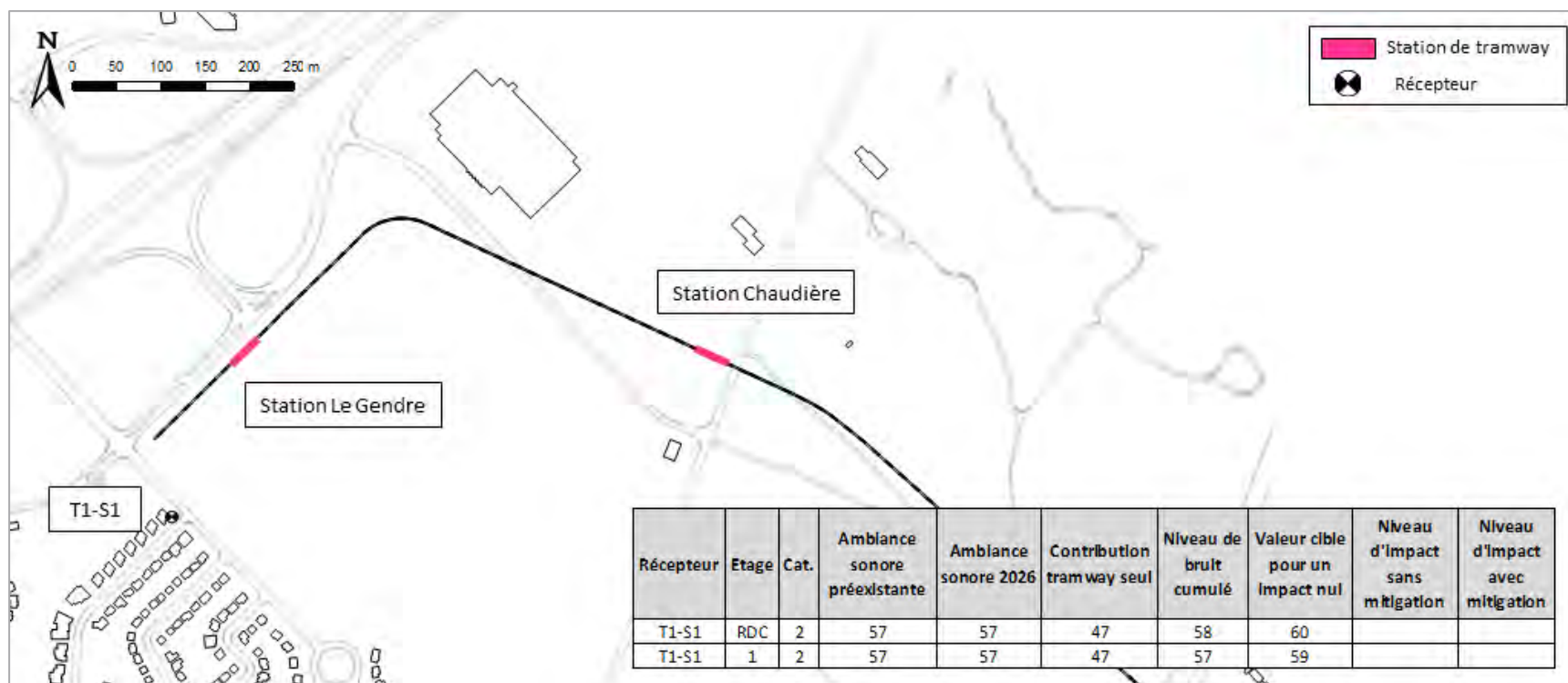


Figure 132 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Le Gendre – Échelle 1/4000°



Figure 133 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°



Figure 134 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Sainte-Foy – Niveau de bruit L_n – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

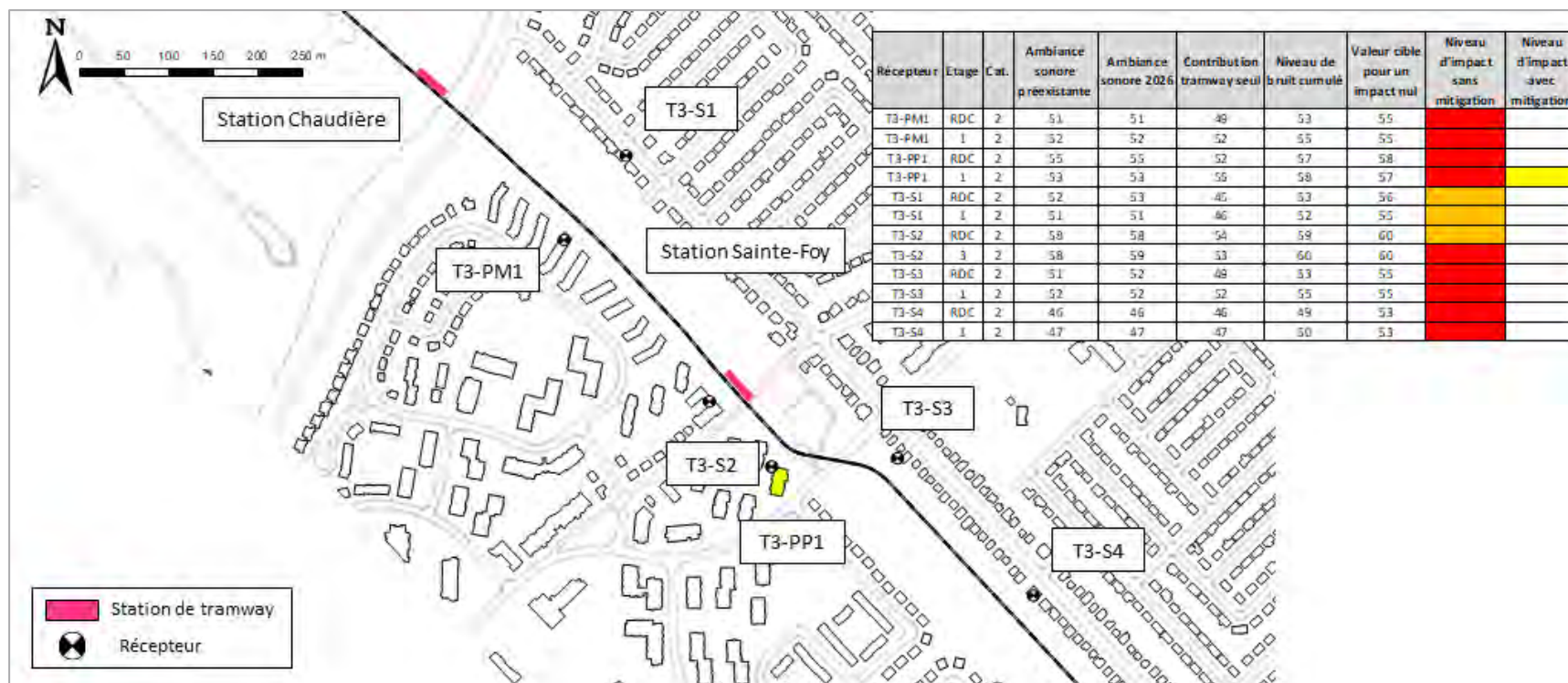


Figure 135 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Sainte-Foy – Échelle 1/4000^e

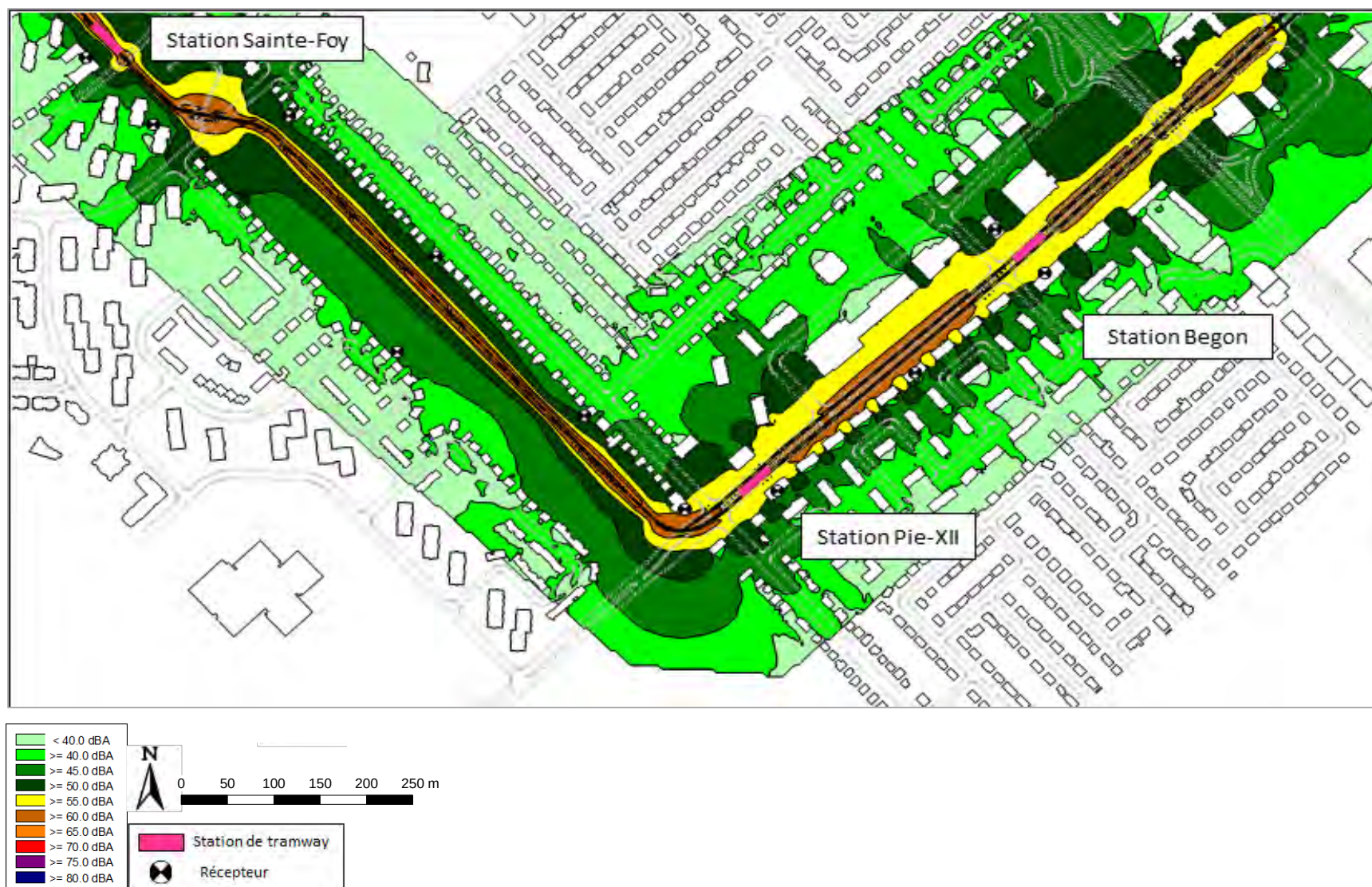


Figure 136 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

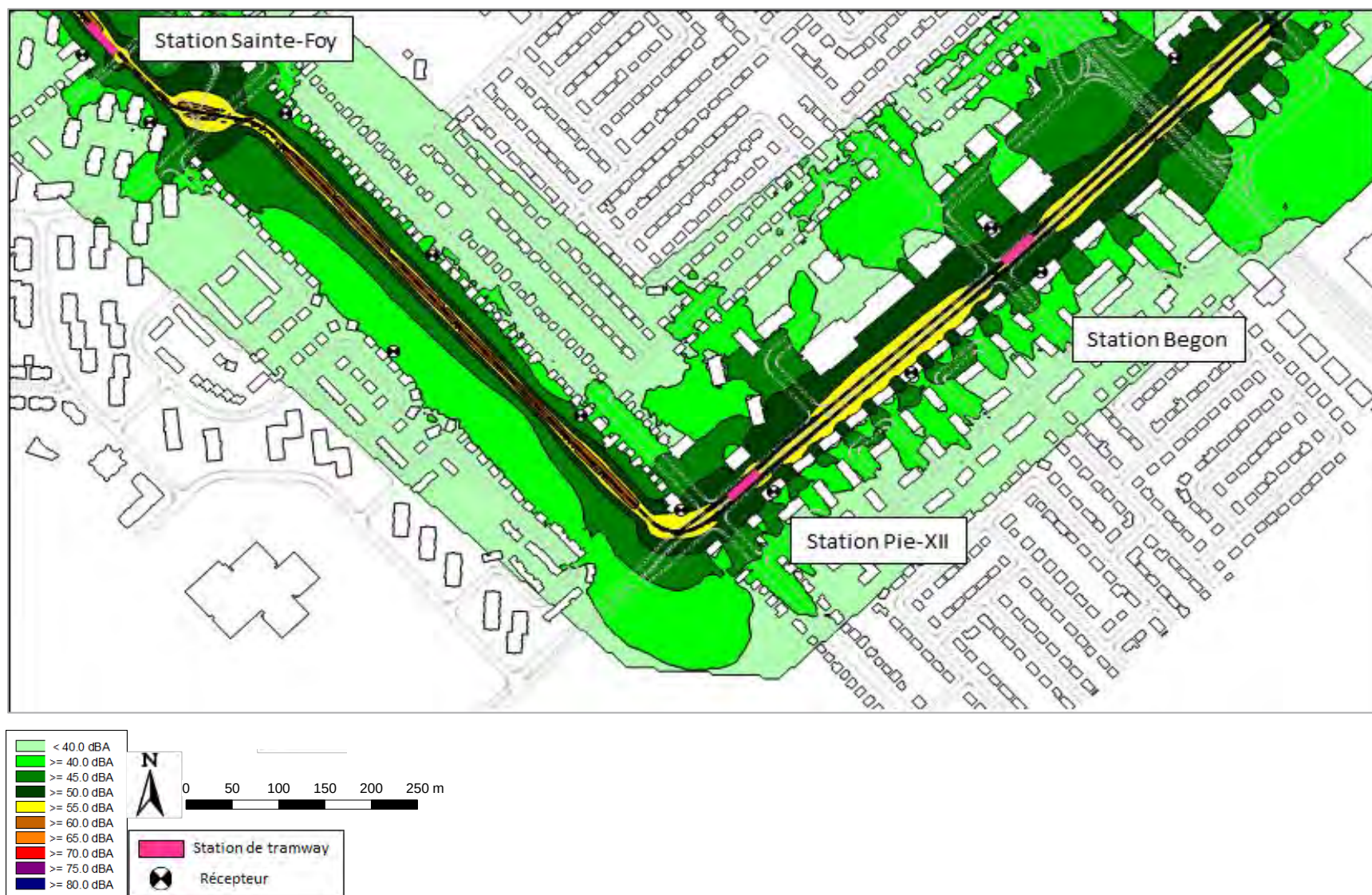


Figure 137 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Pie-XII – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

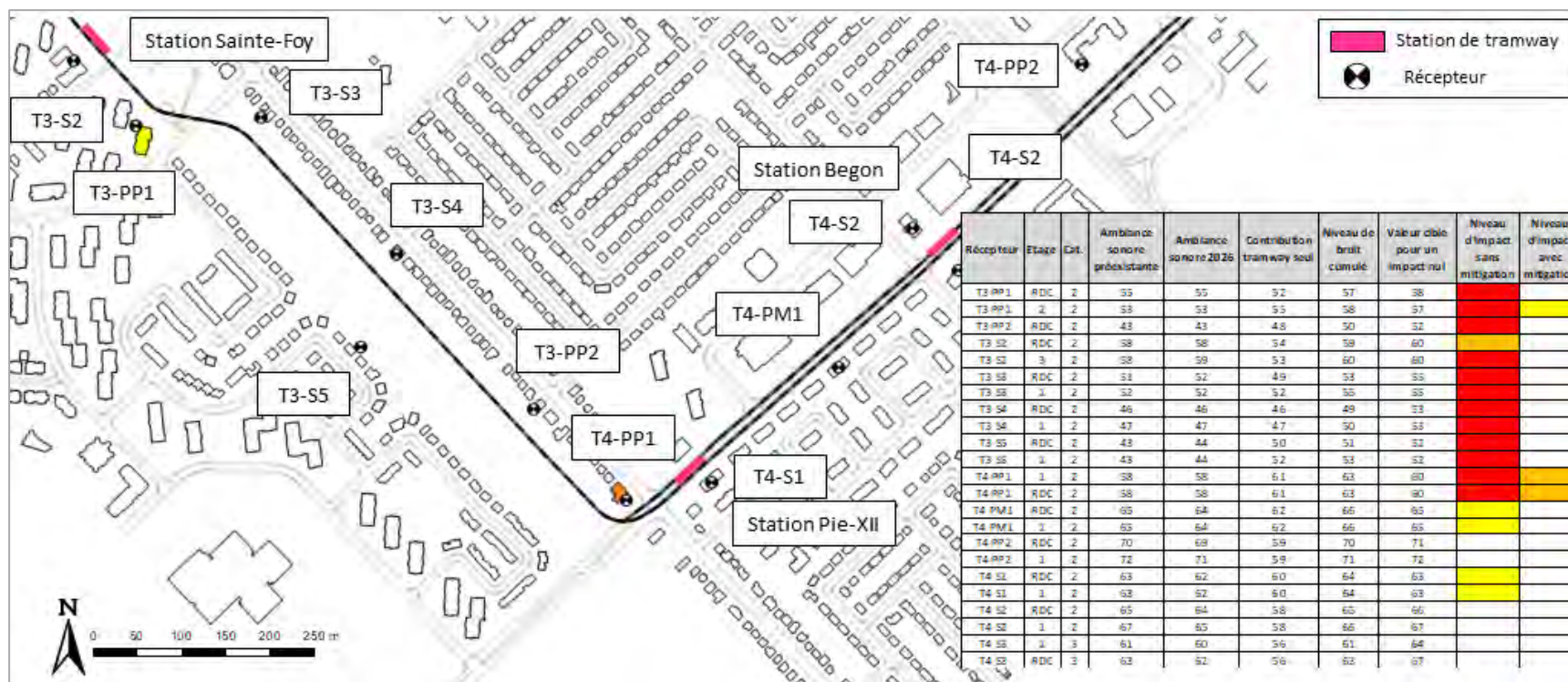


Figure 138 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Pie-XII – Échelle 1/4000°



Figure 139 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 140 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Roland-Beaudin – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

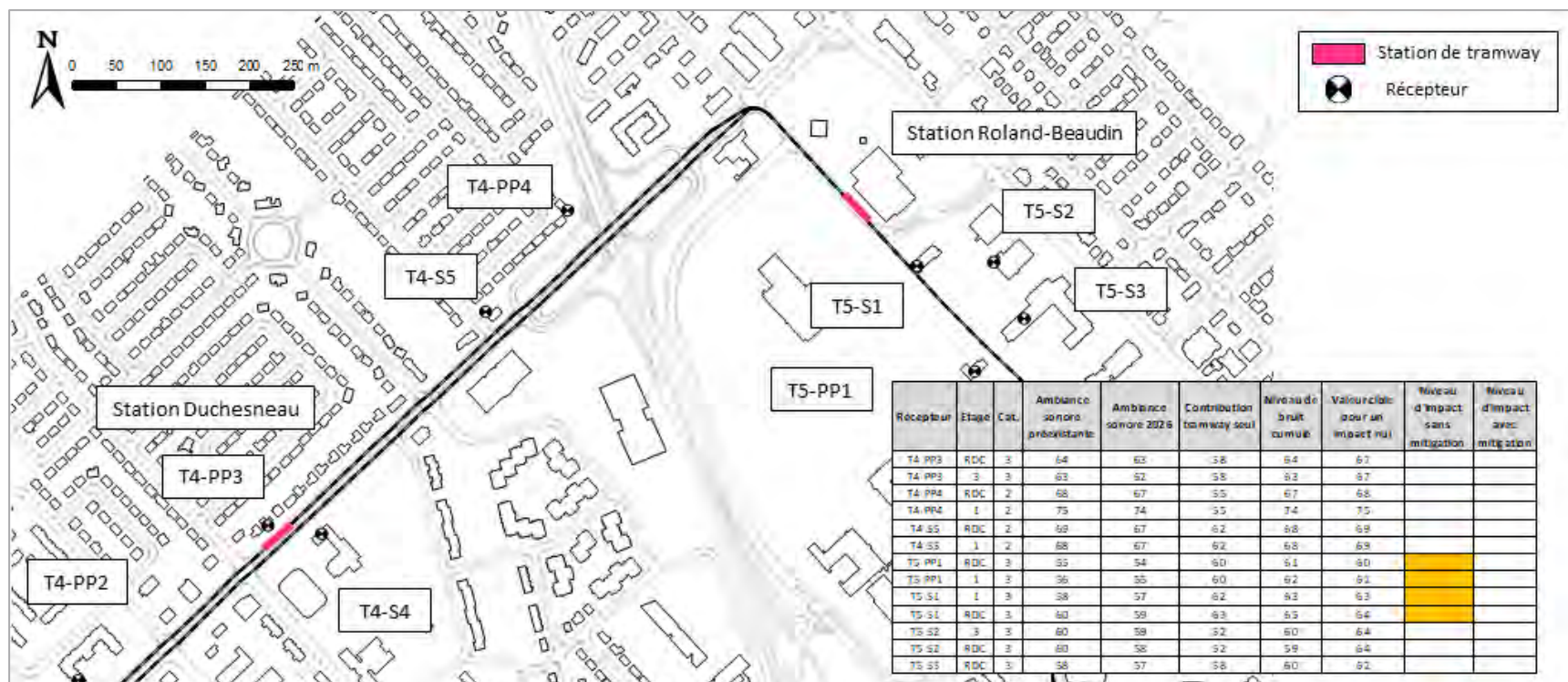


Figure 141 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Roland-Beaudin – Échelle 1/4000^e



Figure 142 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Sainte-Foy Ouest – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 143 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Sainte-Foy Ouest – Niveau de bruit L_n – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

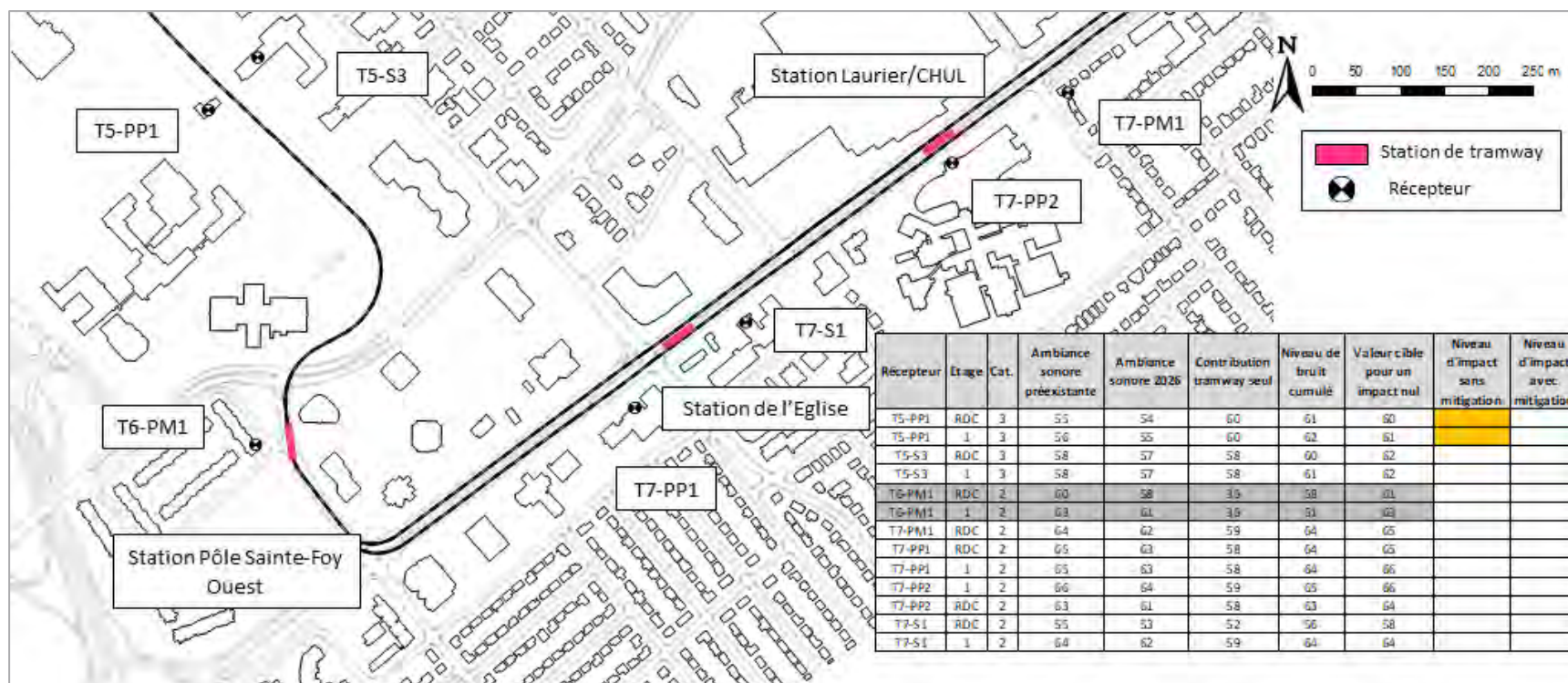


Figure 144 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Sainte-Foy Ouest – Échelle 1/4000^e



Figure 145 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Université Laval – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 146 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Université Laval – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

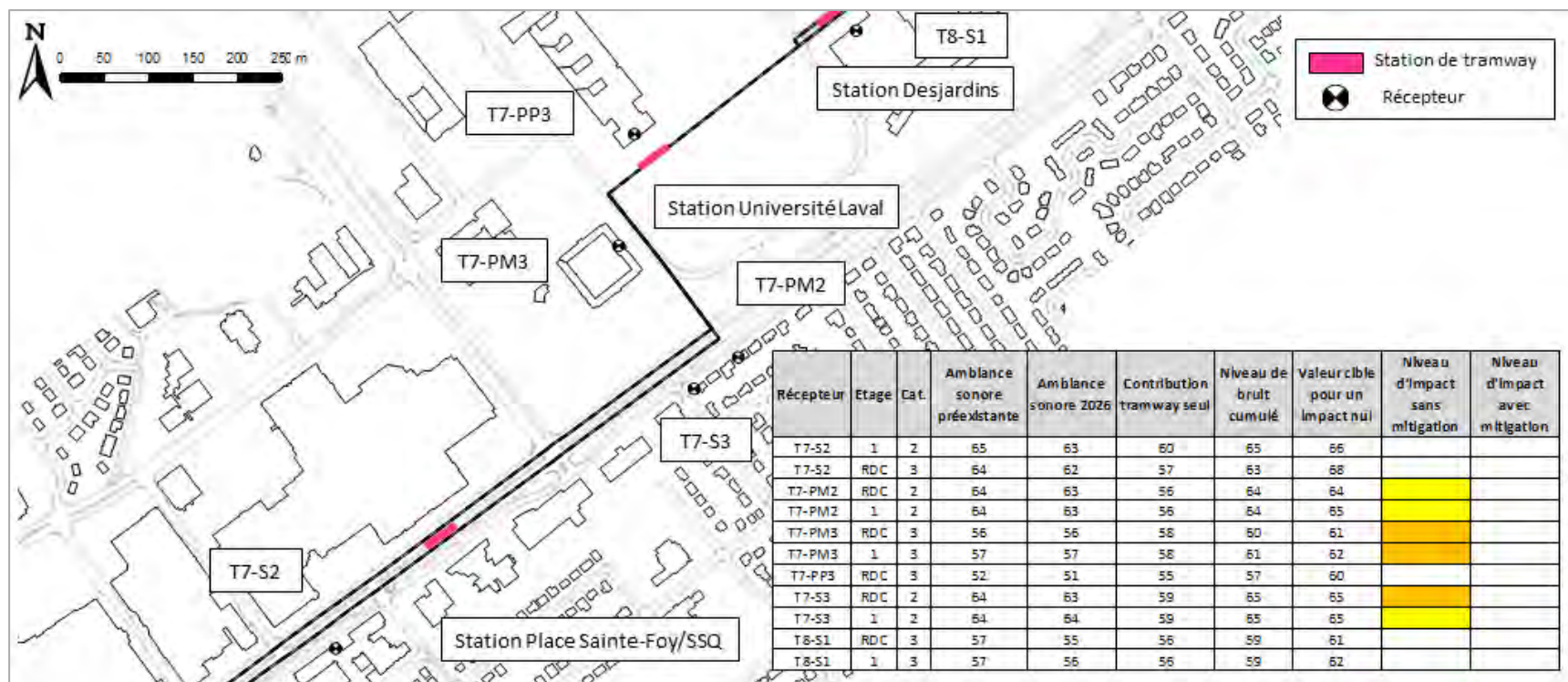


Figure 147 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Université Laval – Échelle 1/4000^e



Figure 148 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Desjardins – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

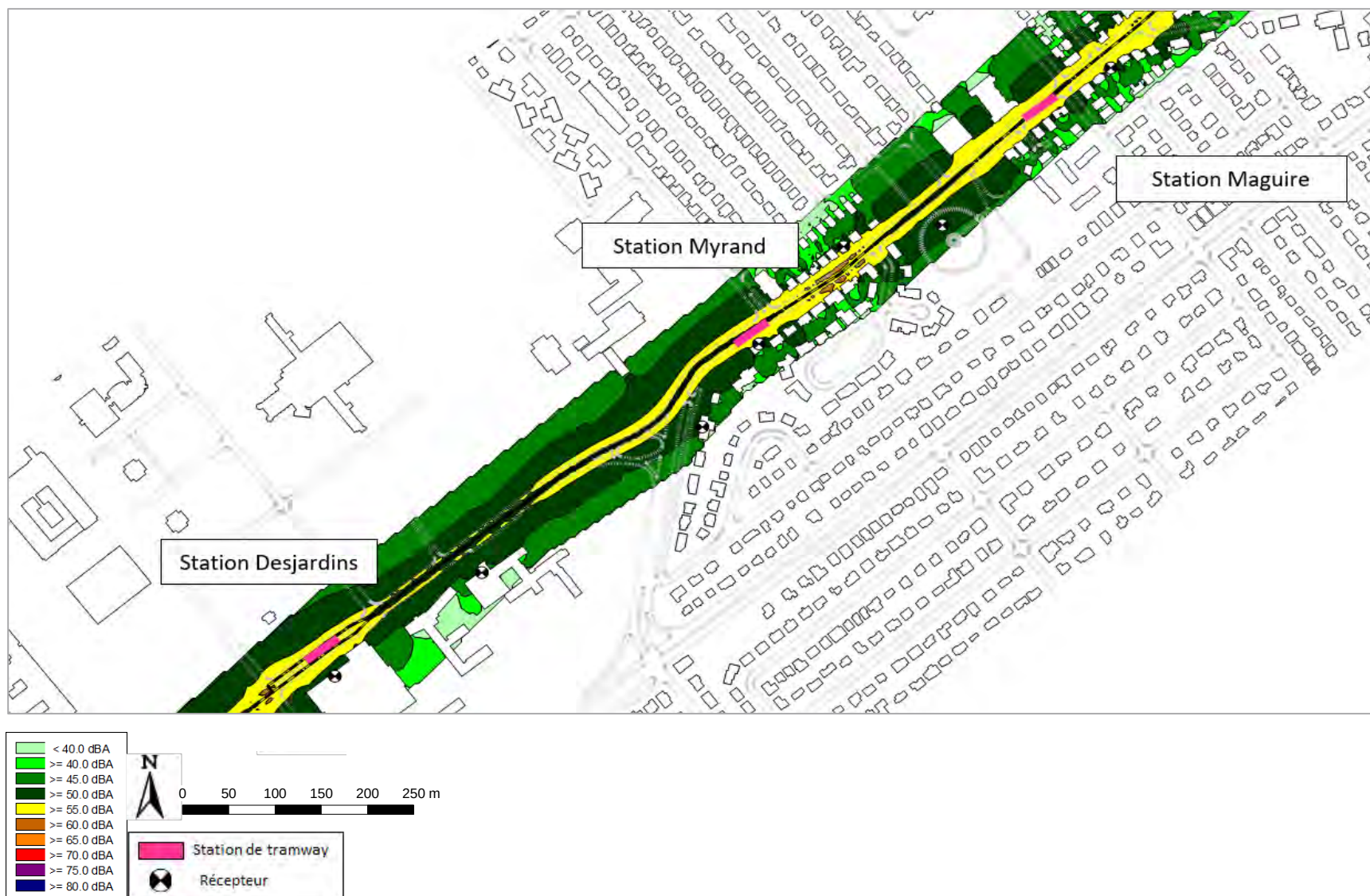


Figure 149 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Desjardins – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

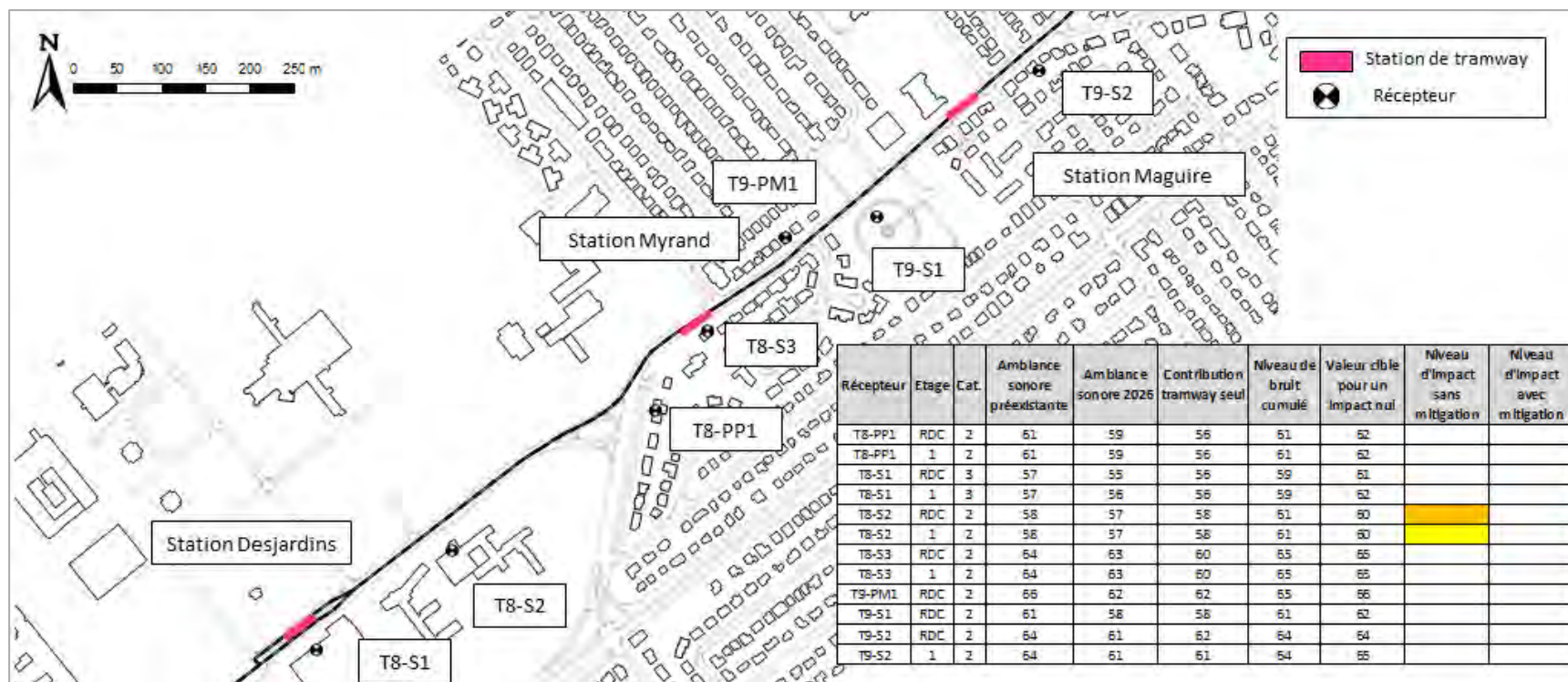


Figure 150 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Desjardins – Échelle 1/4000^e

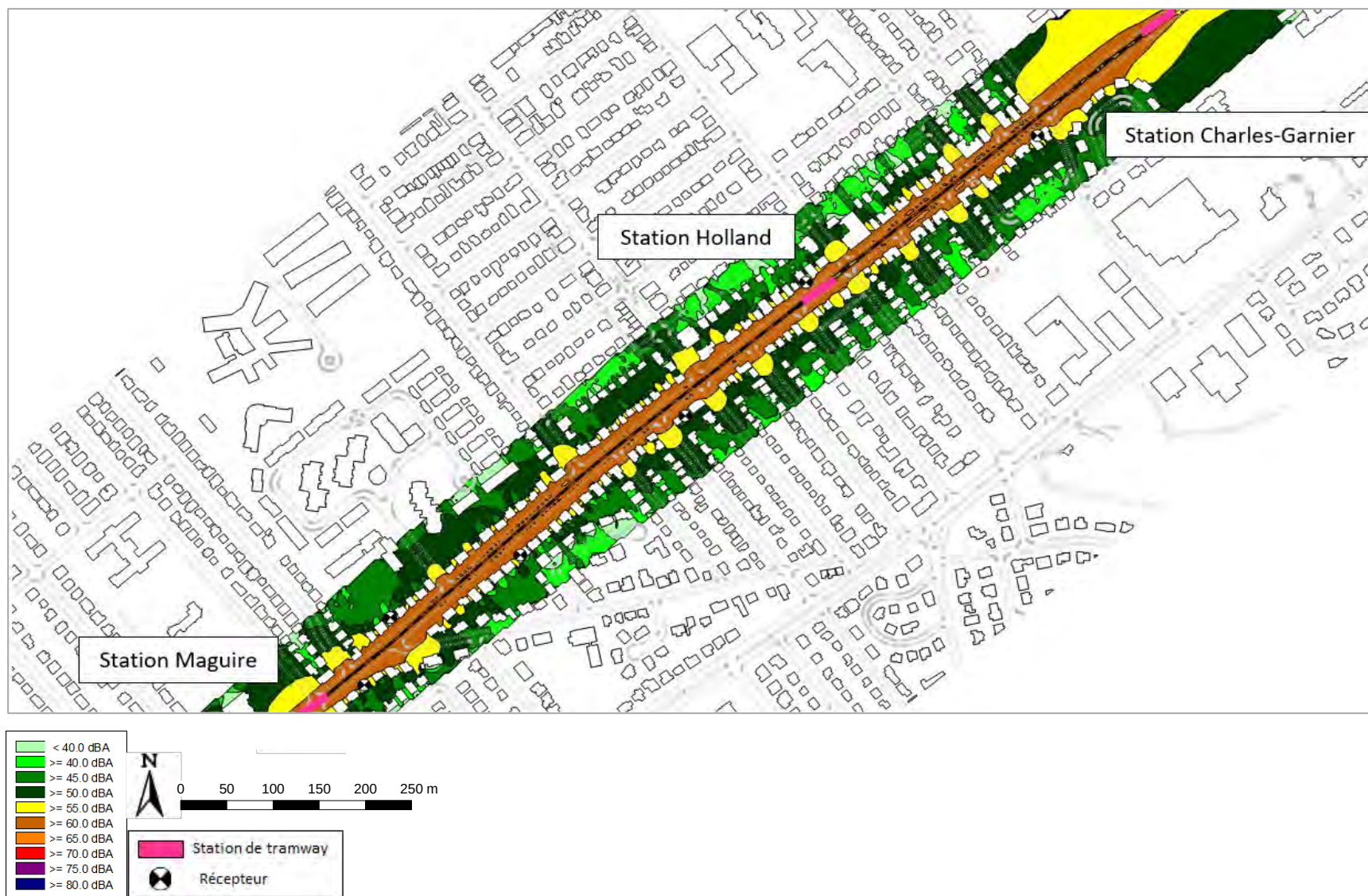


Figure 151 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Holland – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

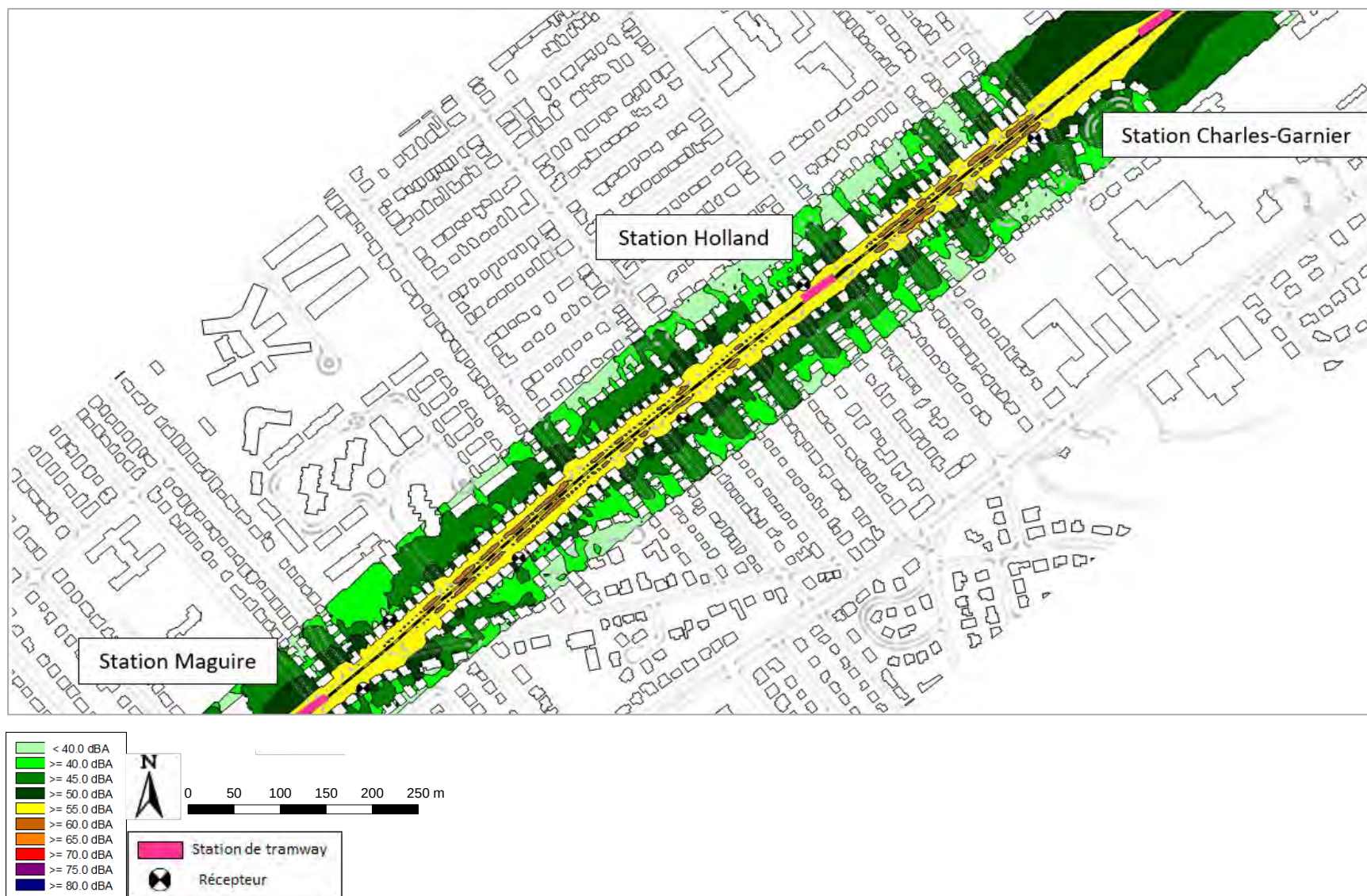


Figure 152 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Holland – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

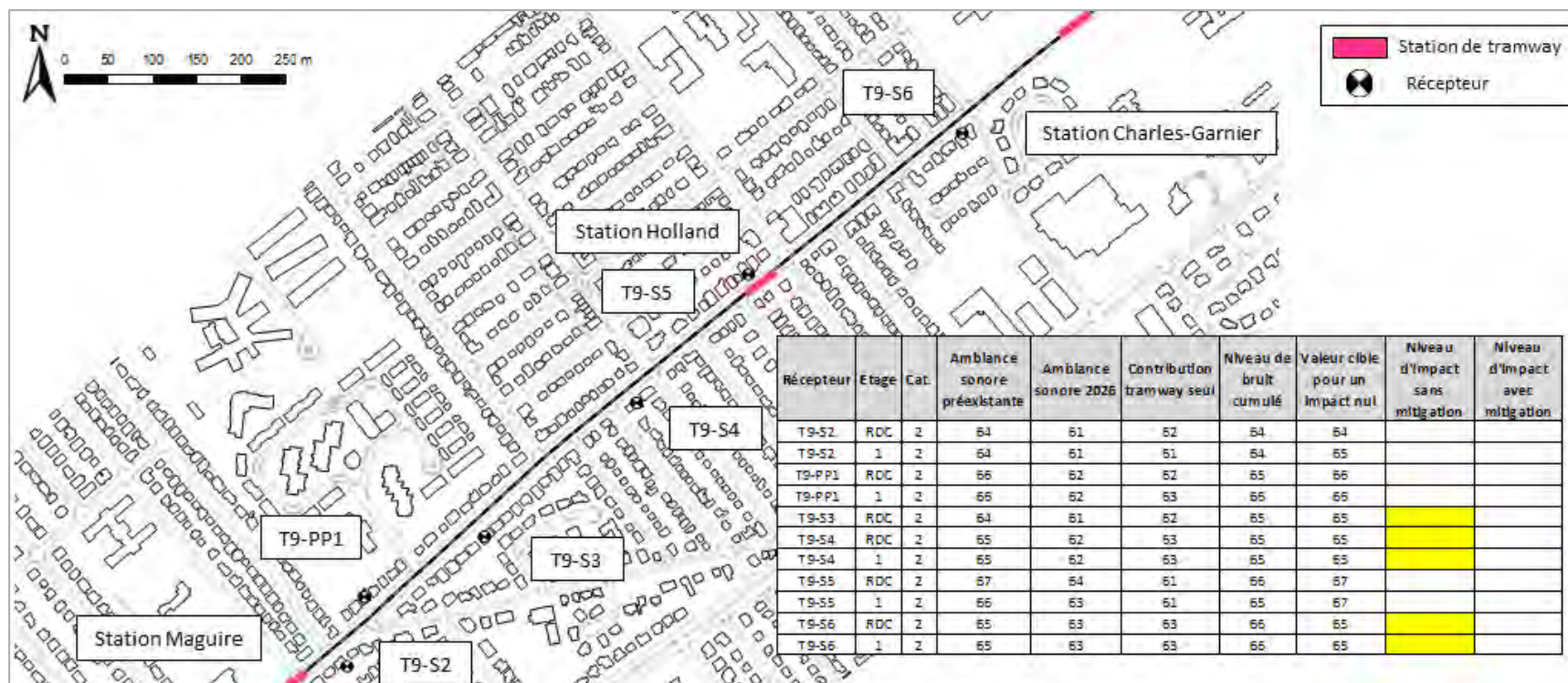


Figure 153 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Holland – Échelle 1/4000^e

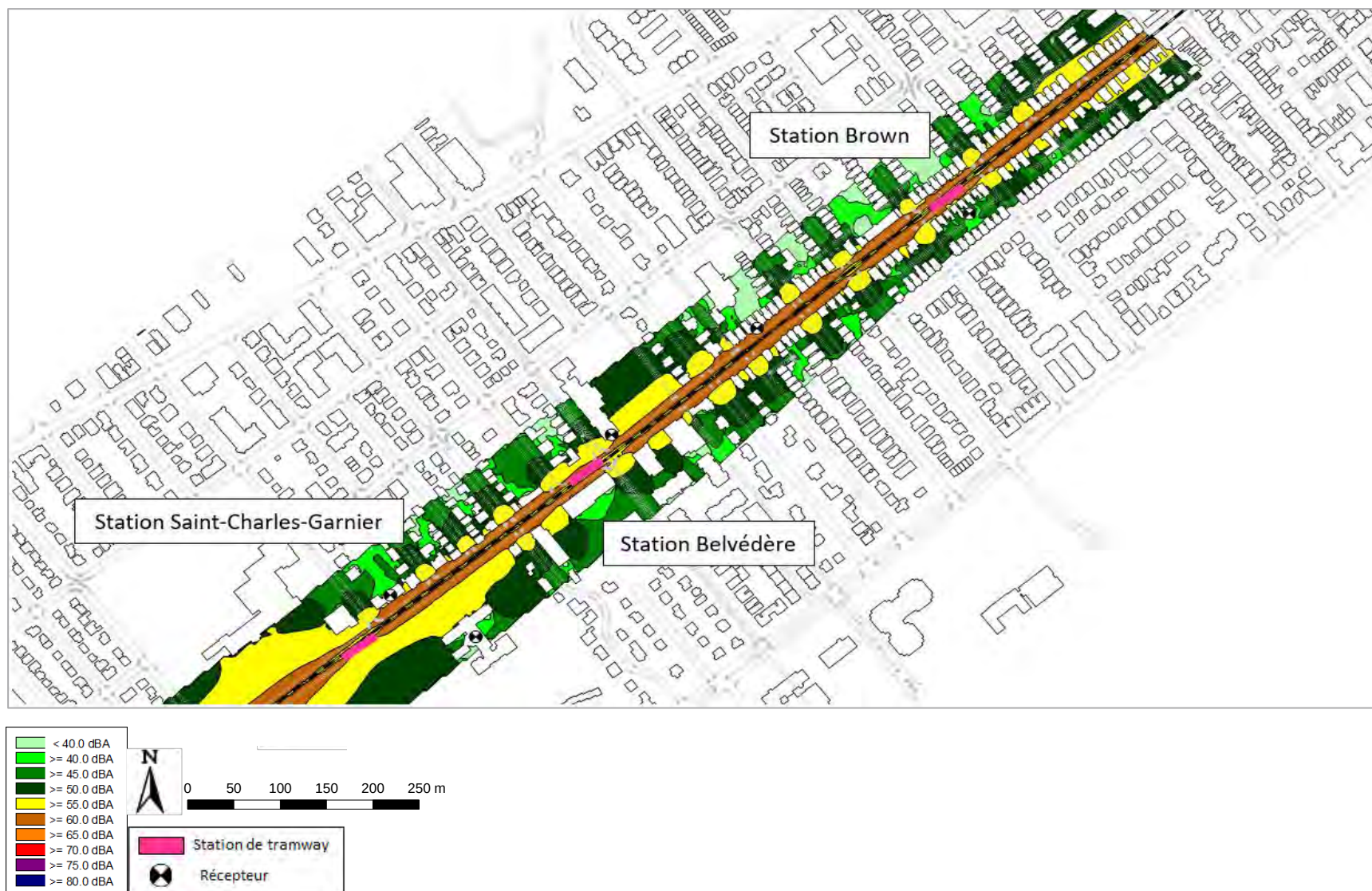


Figure 154 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Belvédère – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 155 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Belvédère – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

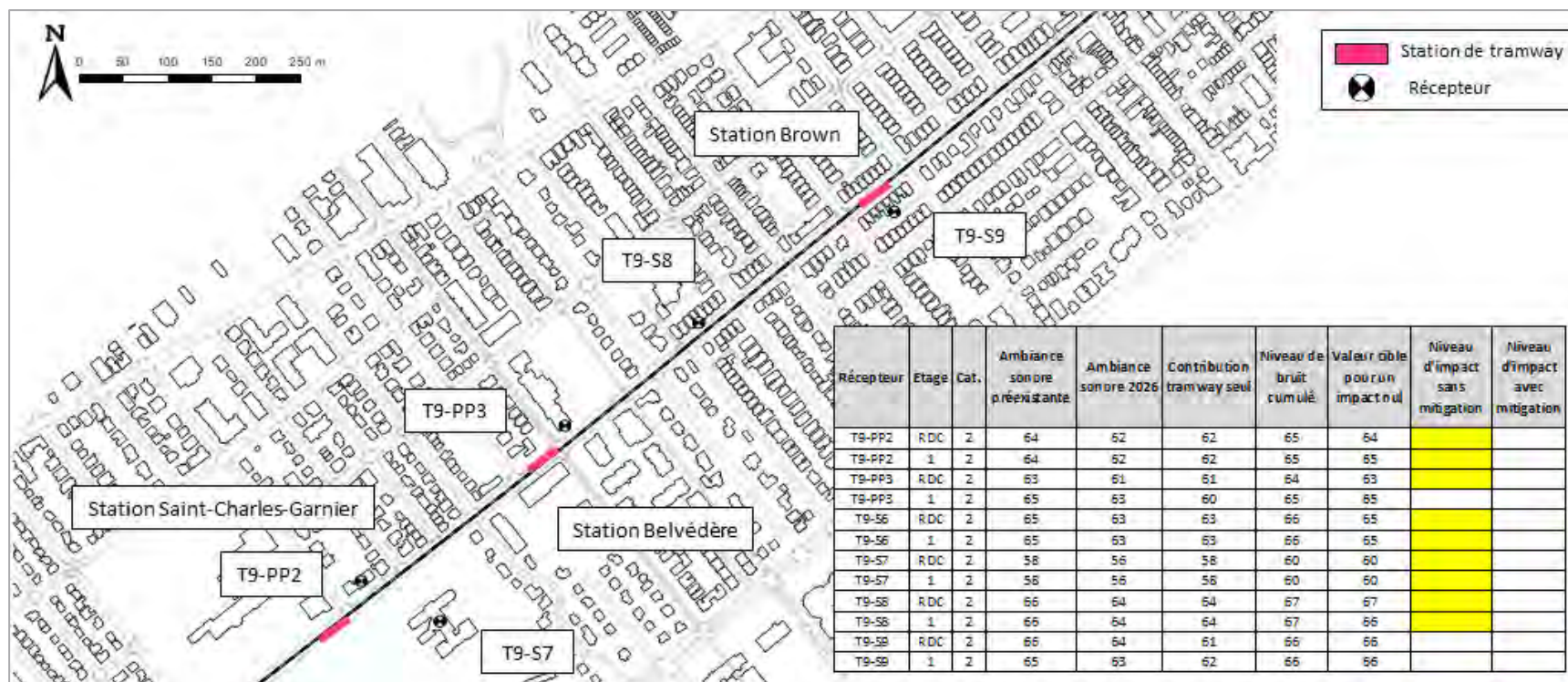


Figure 156 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Belvédère – Échelle 1/4000°

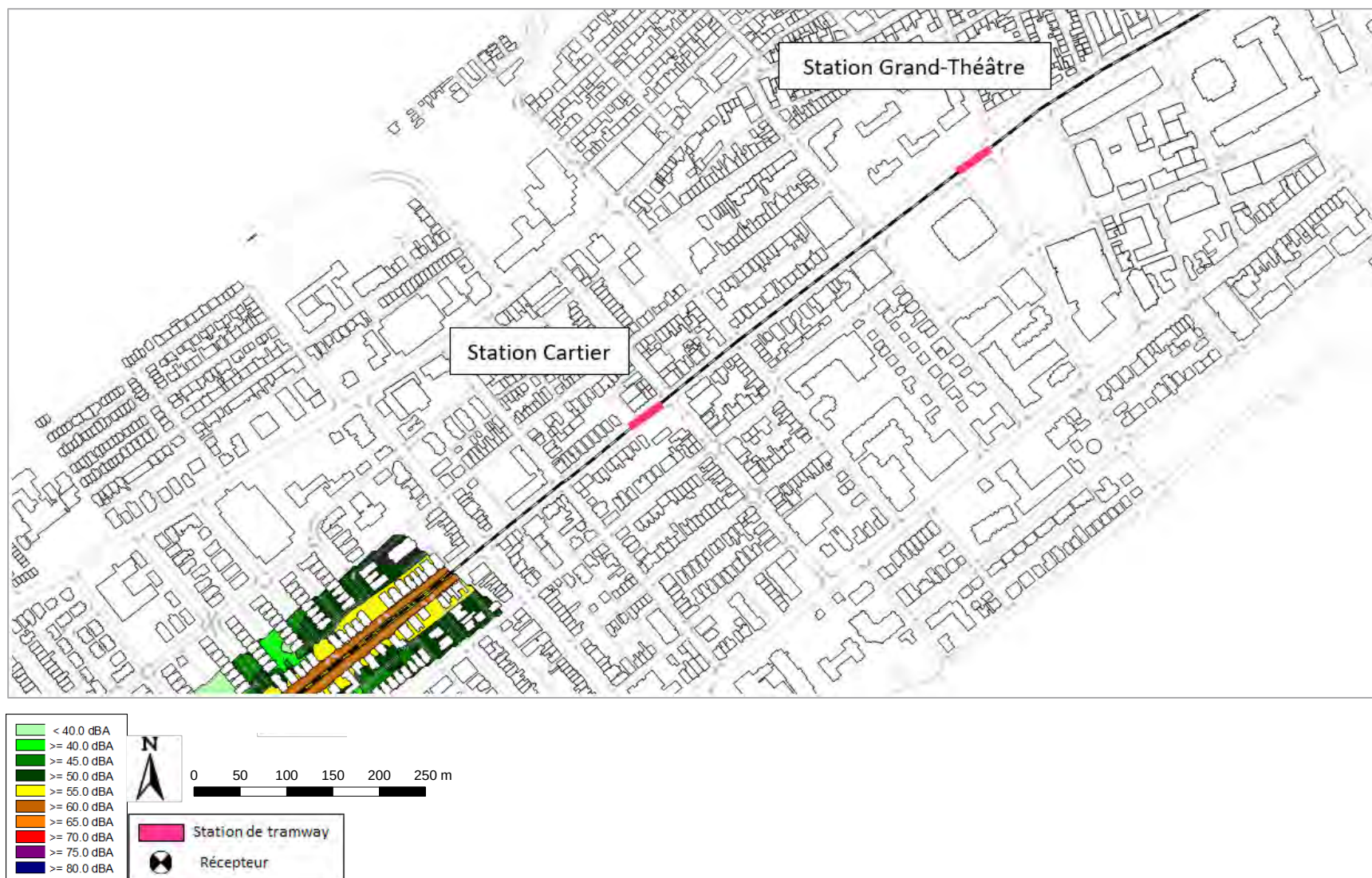


Figure 157 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Brown – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

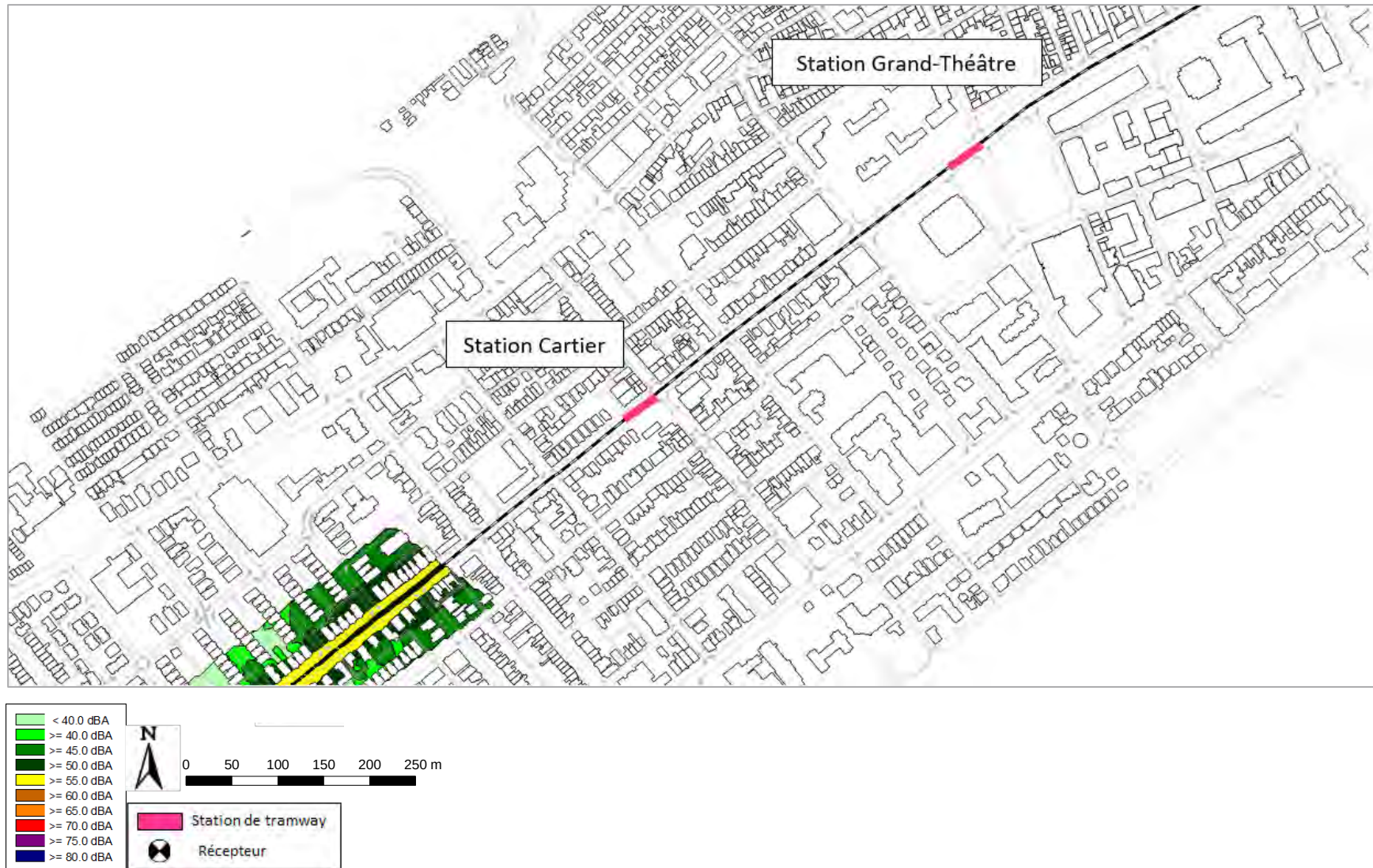


Figure 158 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Brown – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

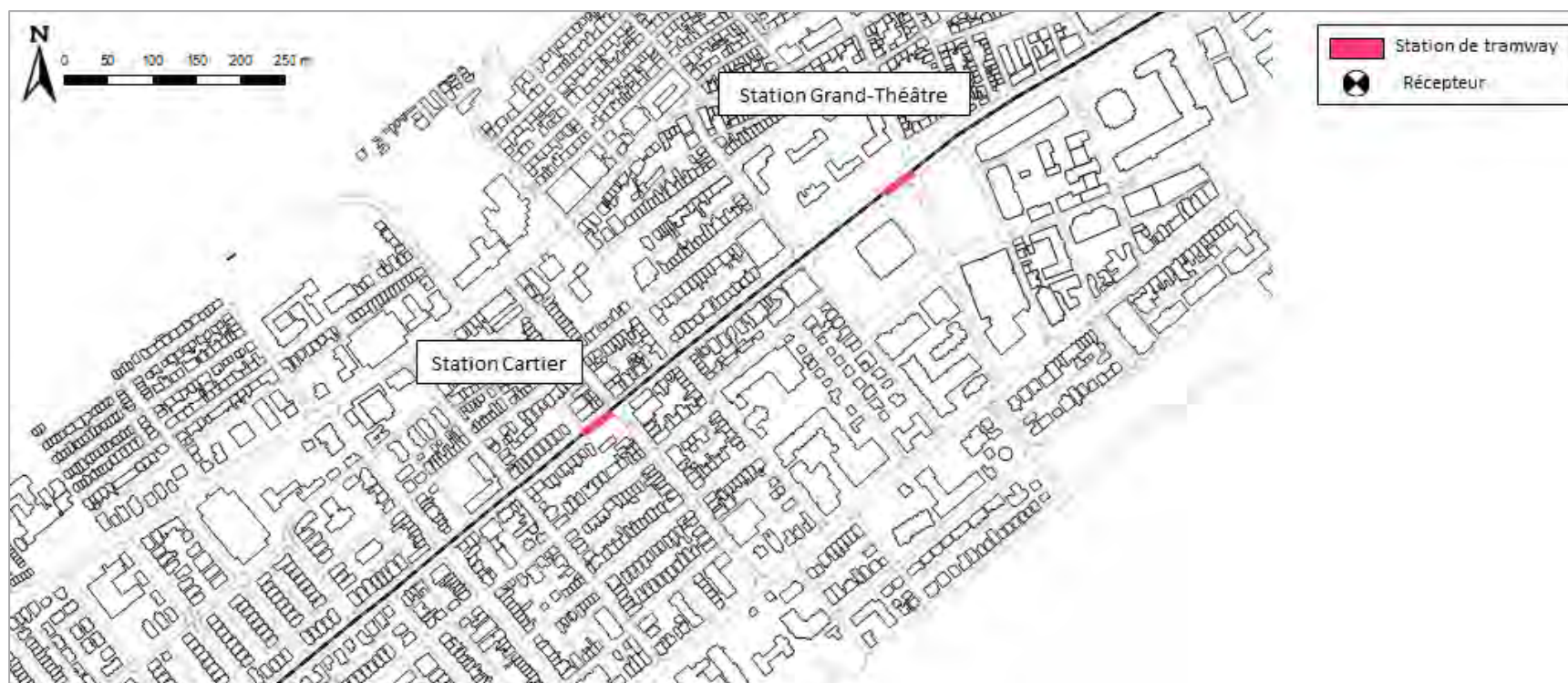


Figure 159 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Brown – Échelle 1/4000^e

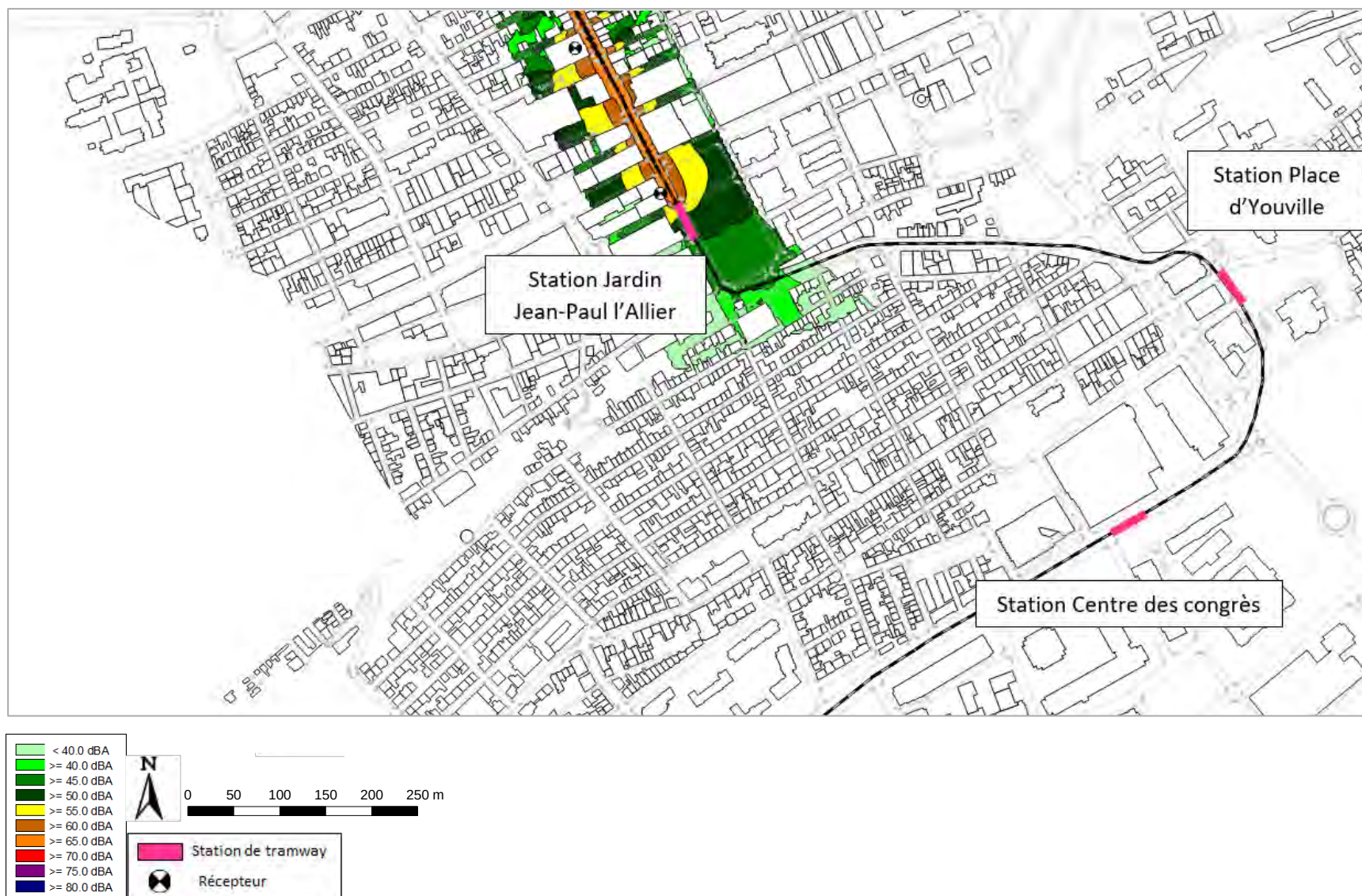


Figure 160 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

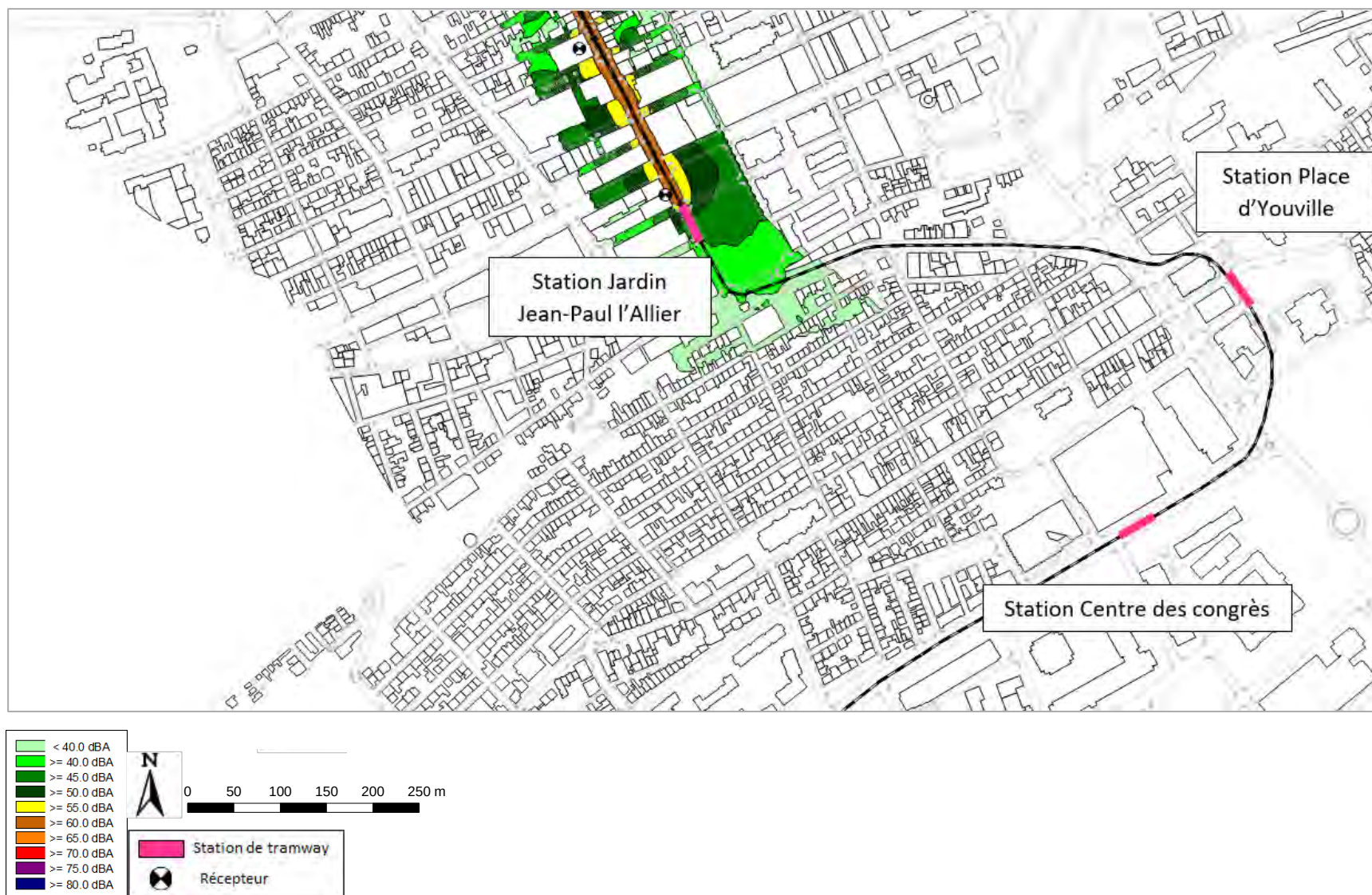


Figure 161 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Centre-des-congrès – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

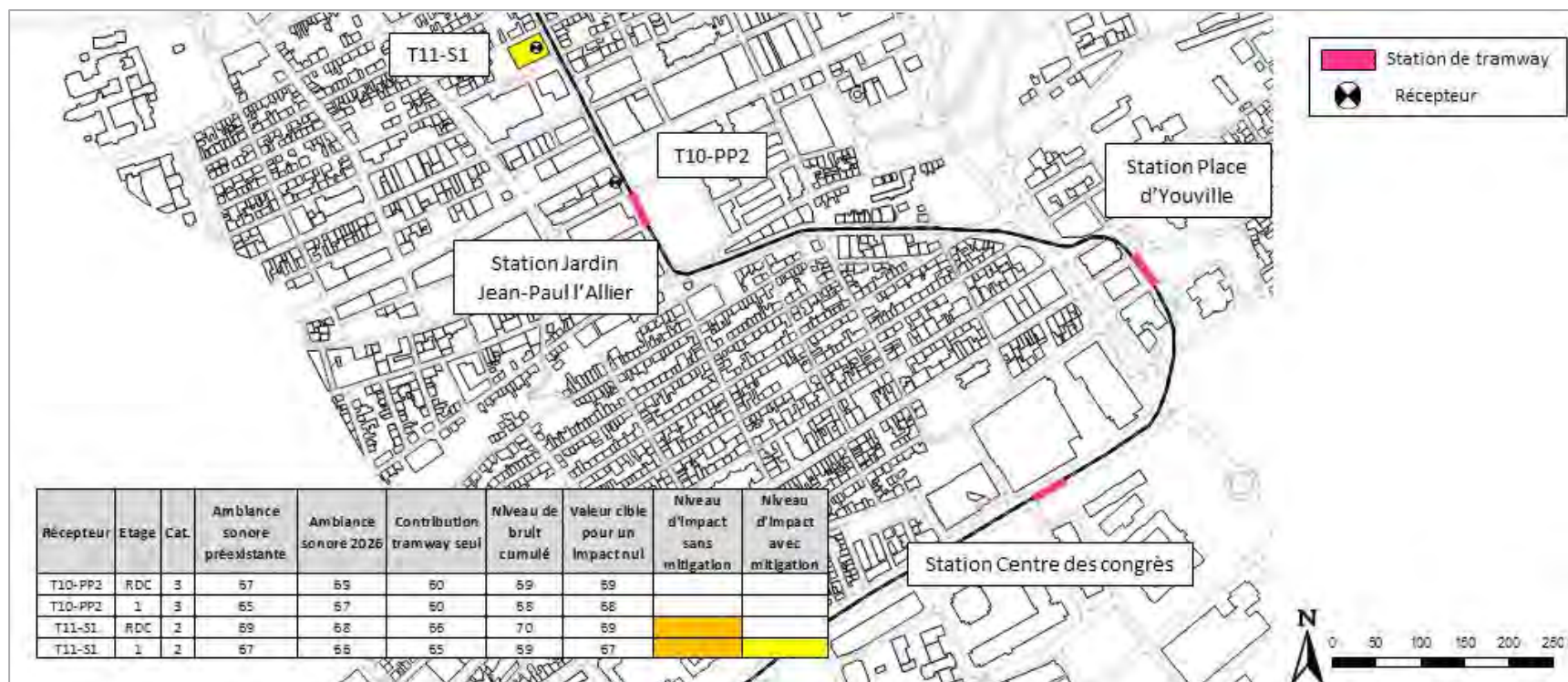


Figure 162 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Centre-des-congrès – Échelle 1/4000°

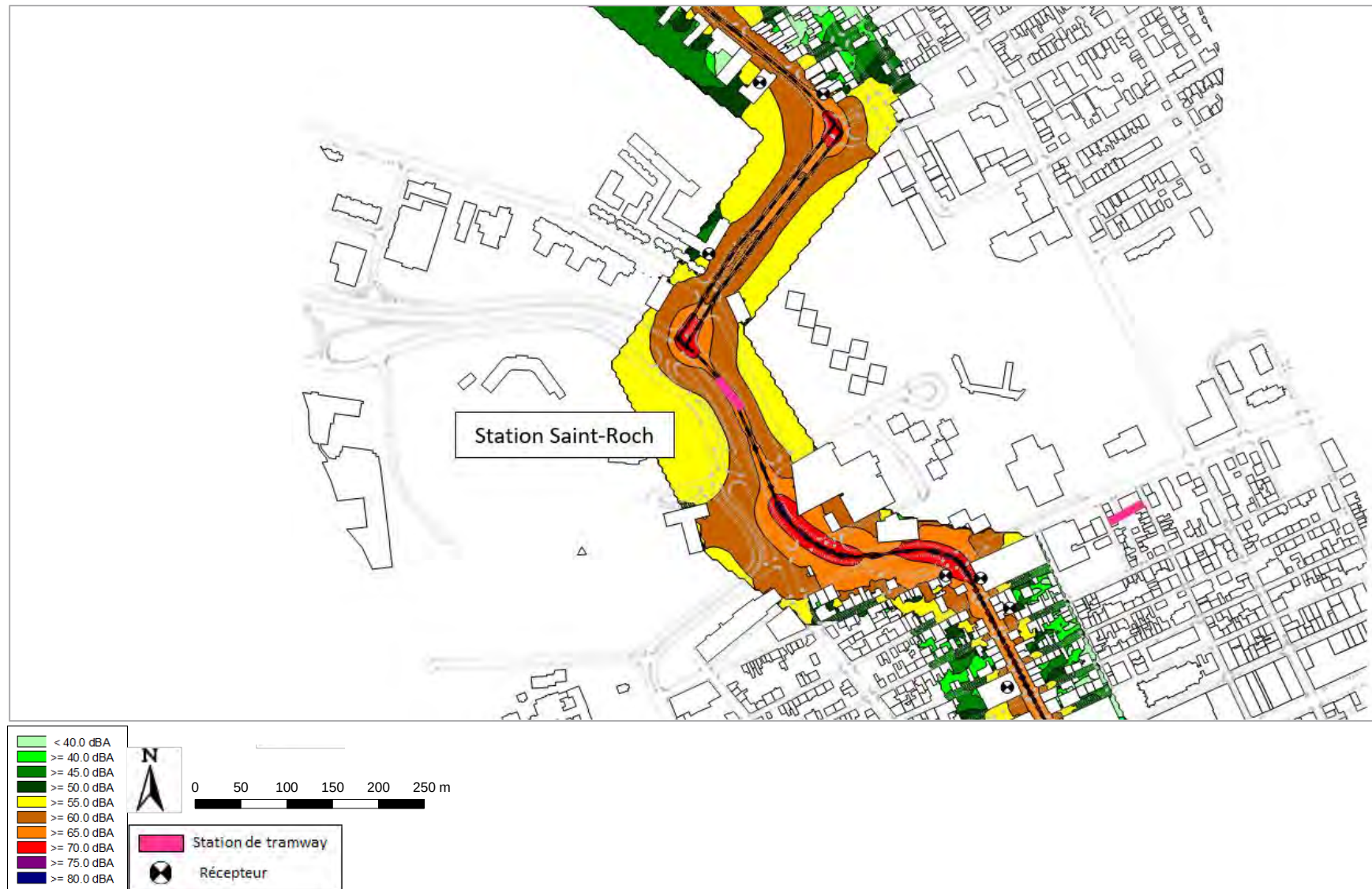


Figure 163 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

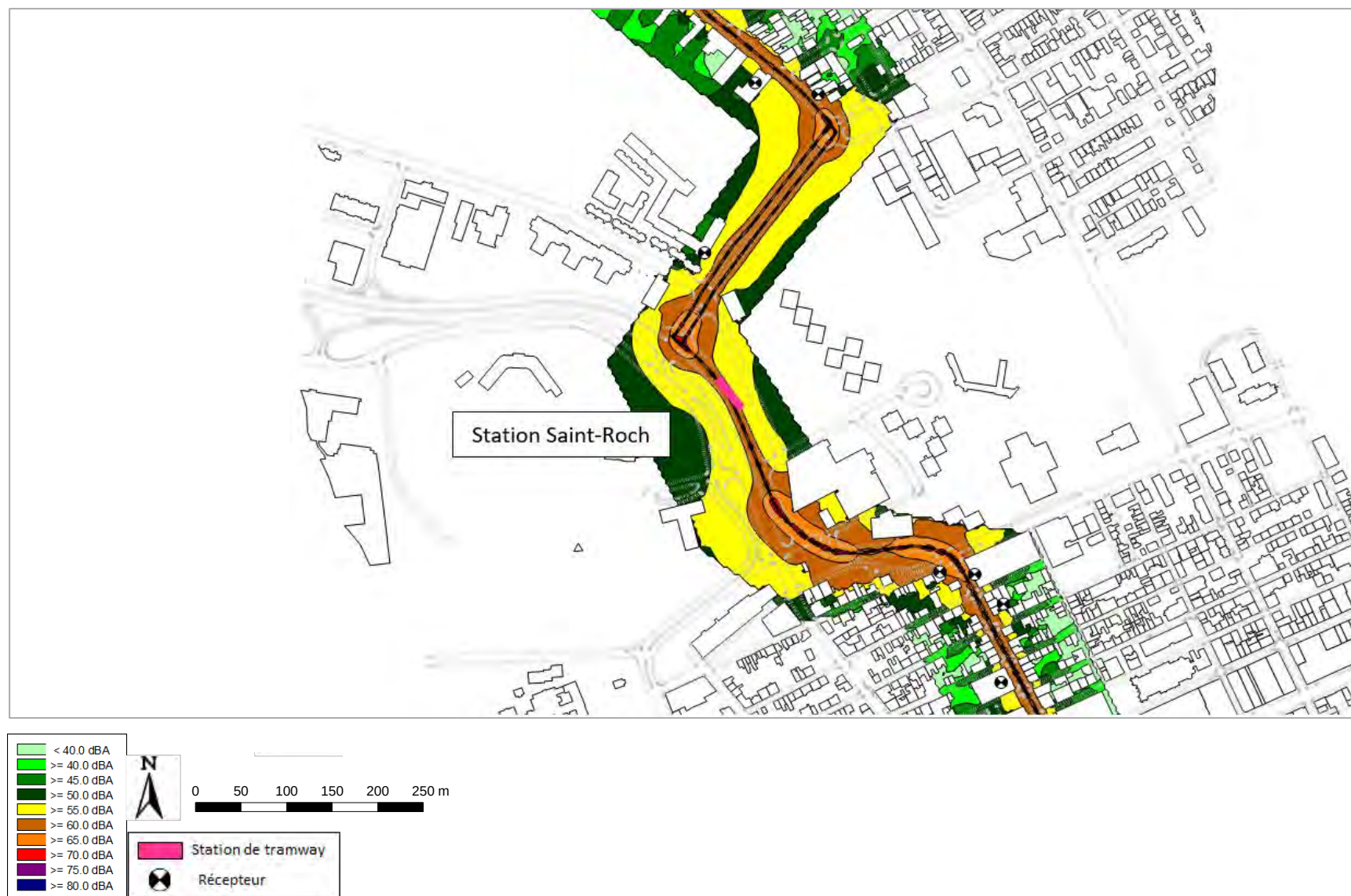


Figure 164 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Saint-Roch – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

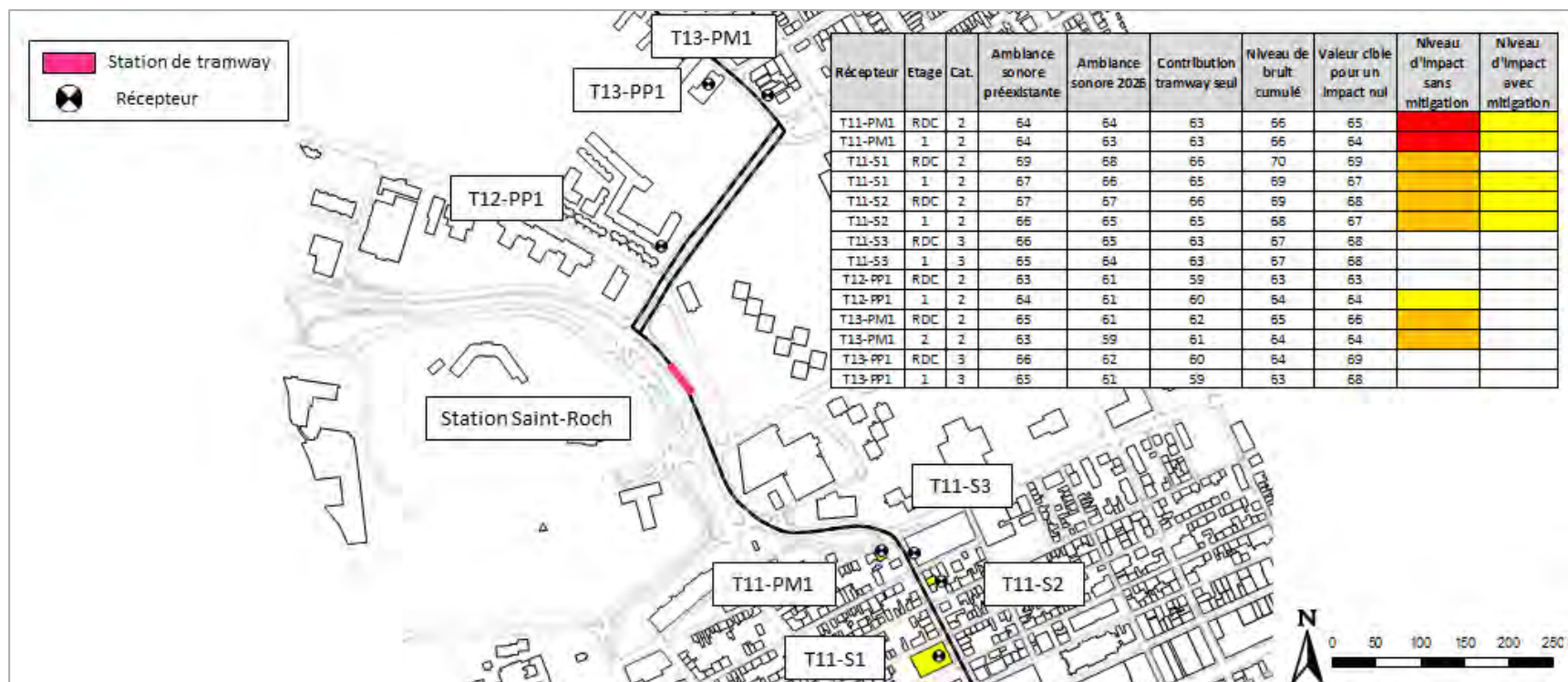


Figure 165 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Saint-Roch – Échelle 1/4000^e



Figure 166 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Hôpital St Fr. d'Assise – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 167 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Hôpital St Fr. d'Assise – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

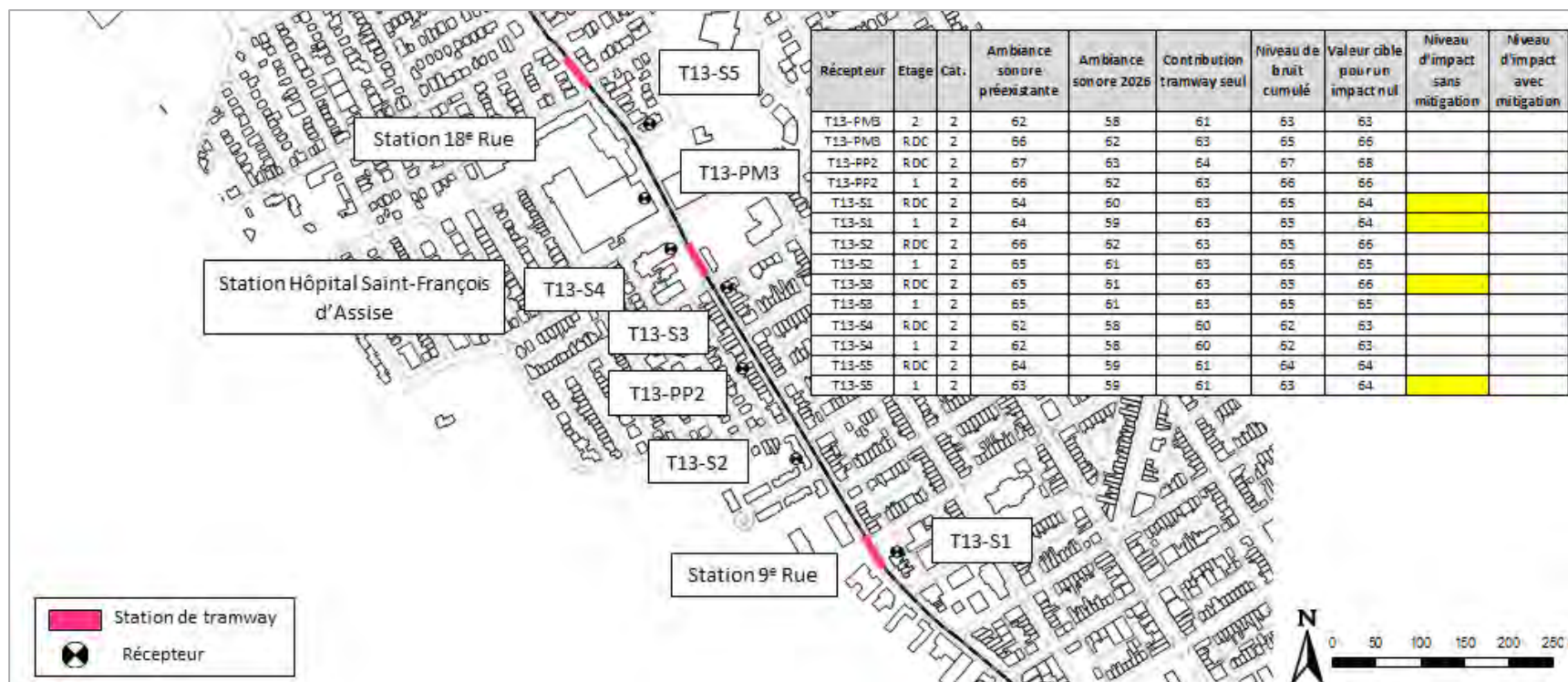


Figure 168 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Hôpital Saint François d'Assise – Échelle 1/4000^e



Figure 169 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

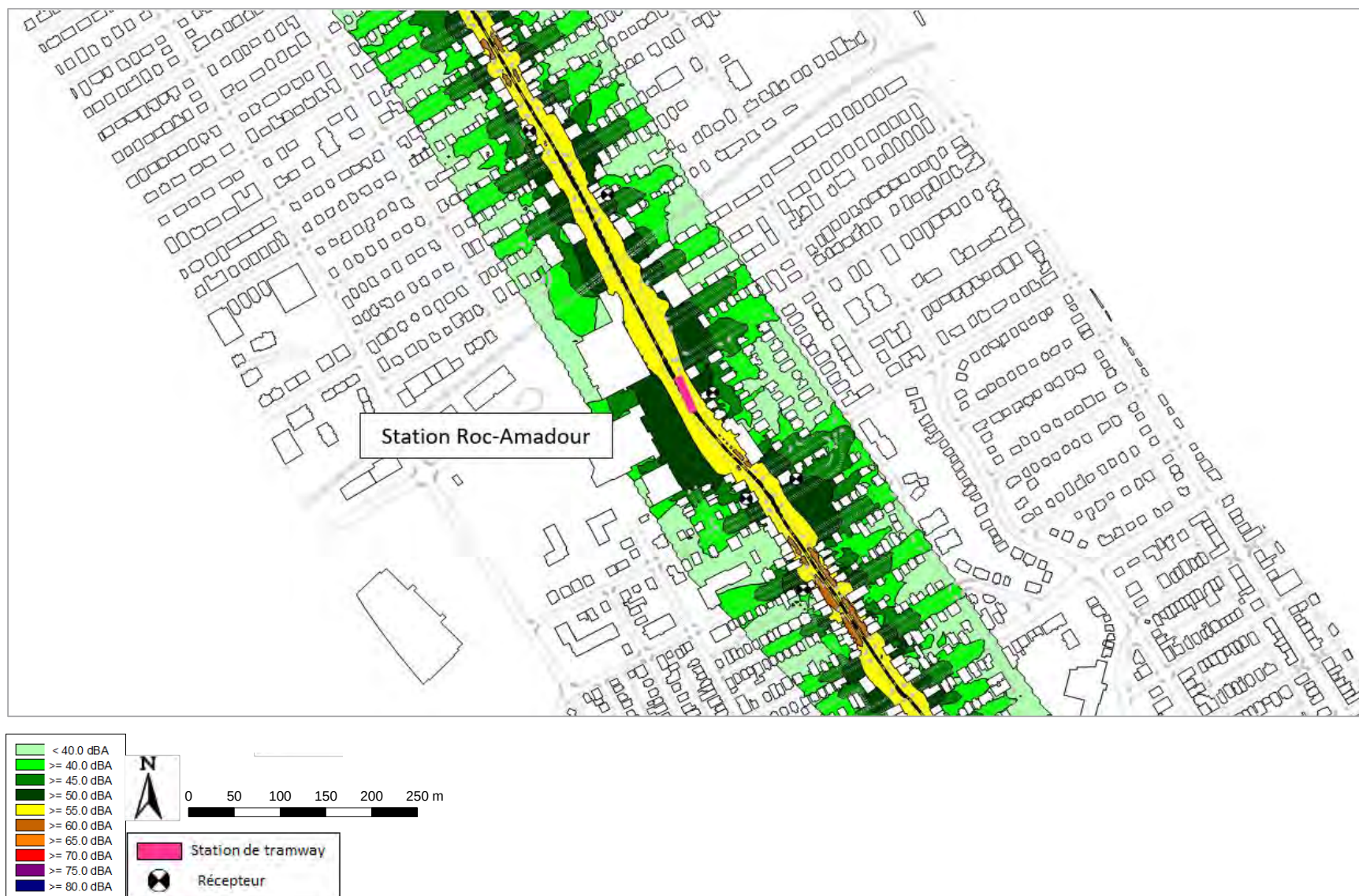


Figure 170 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur Patro Roc-Amadour – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

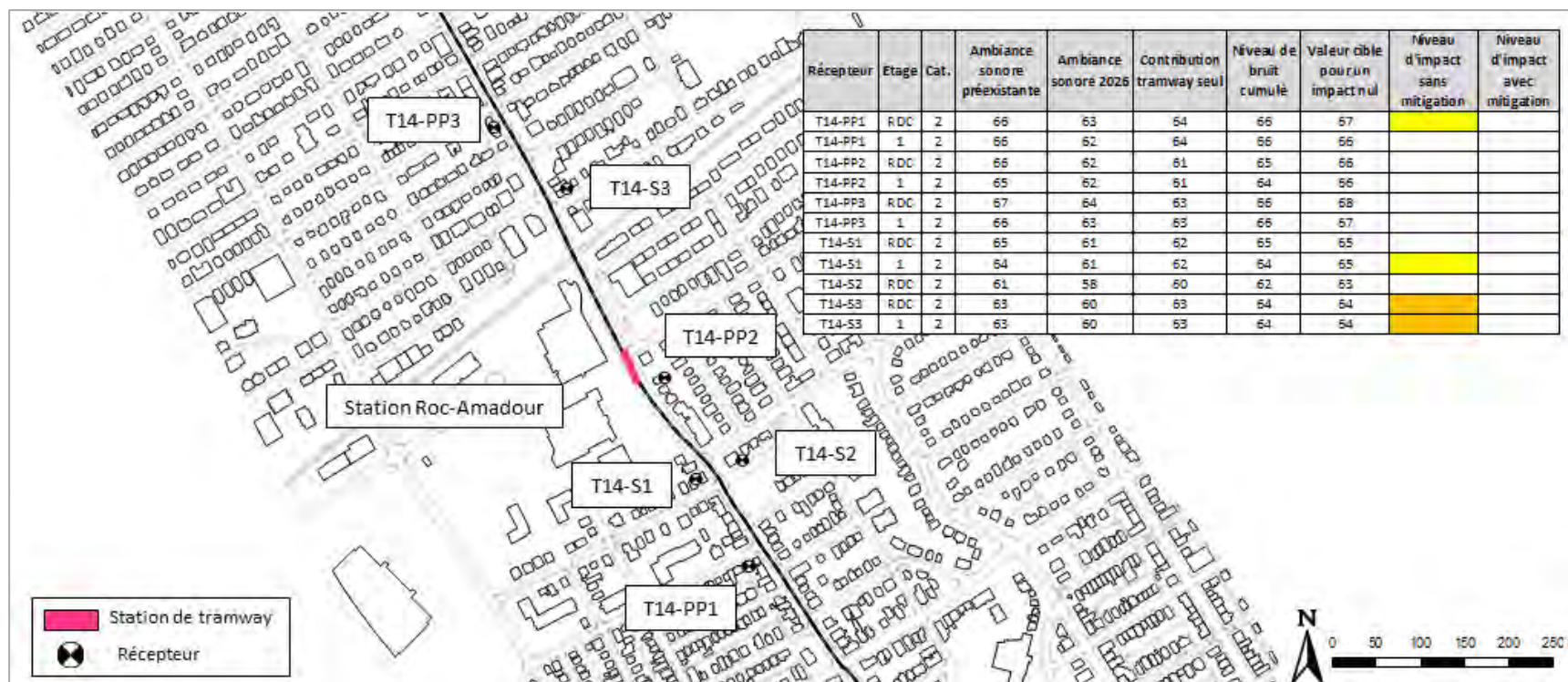


Figure 171 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur Patro Roc-Amadour – Échelle 1/4000°



Figure 172 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 41^e Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

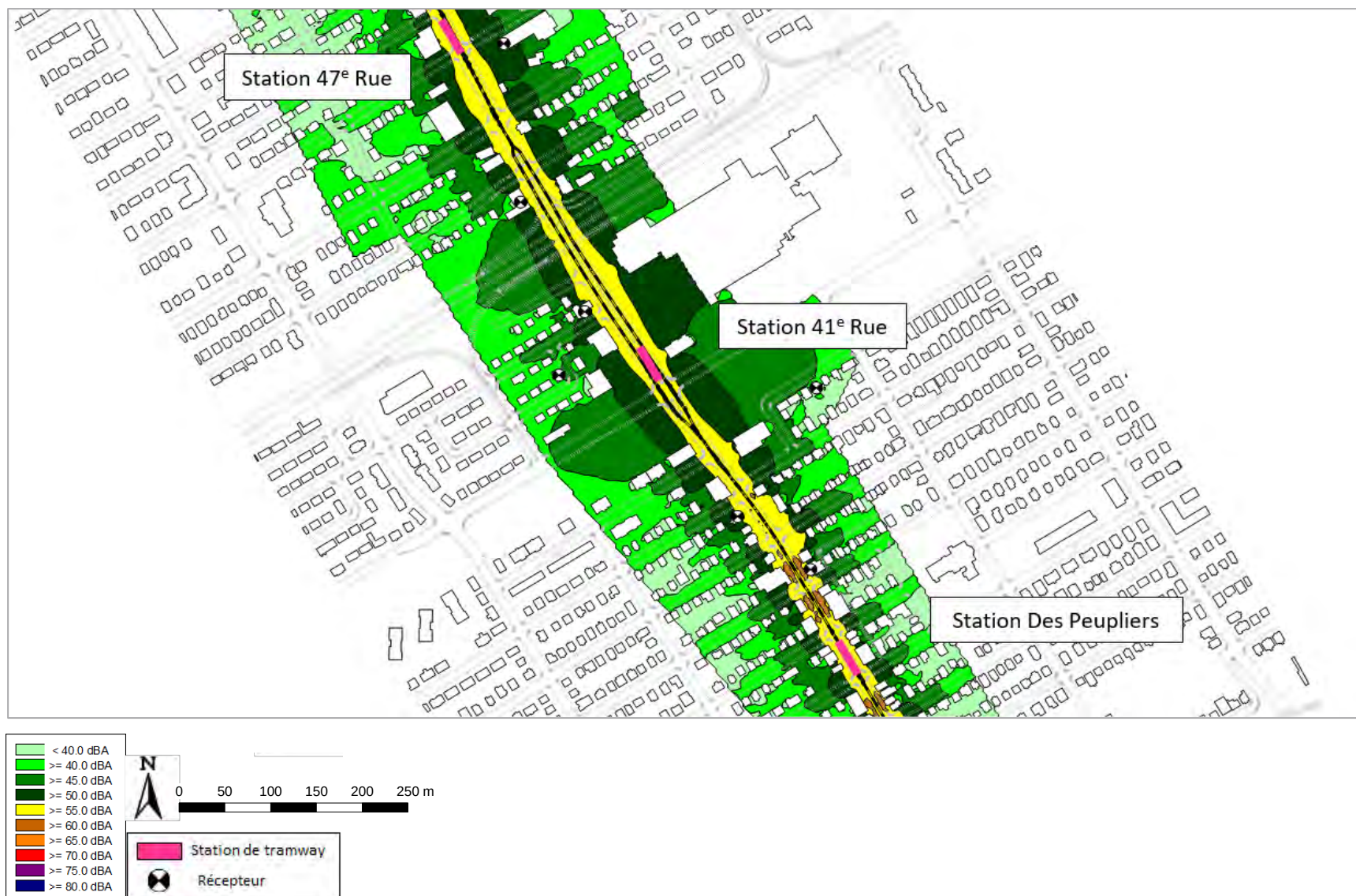


Figure 173 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 41^e Rue – Niveau de bruit LN – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

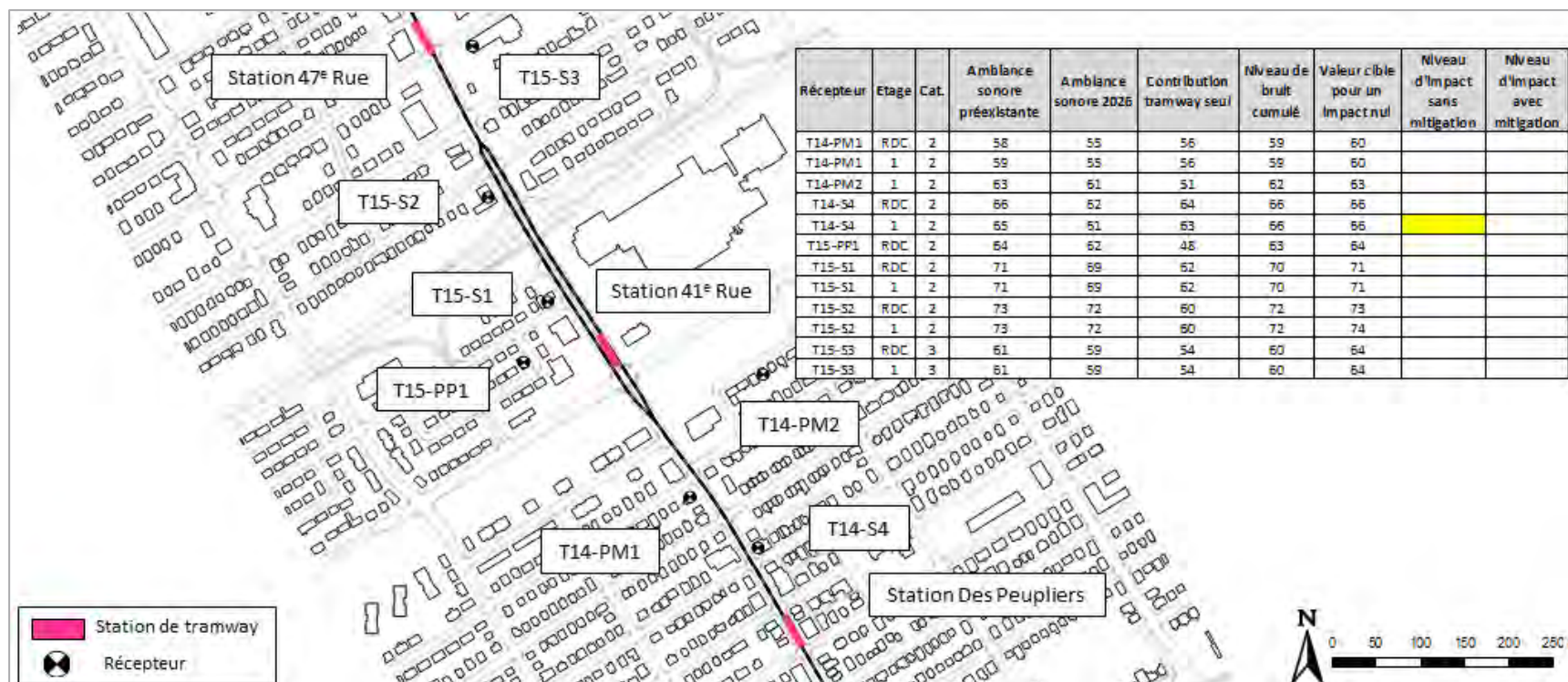


Figure 174 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur 41^e Rue – Échelle 1/4000^e



Figure 175 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 55° Rue – Niveau de bruit LD – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000°

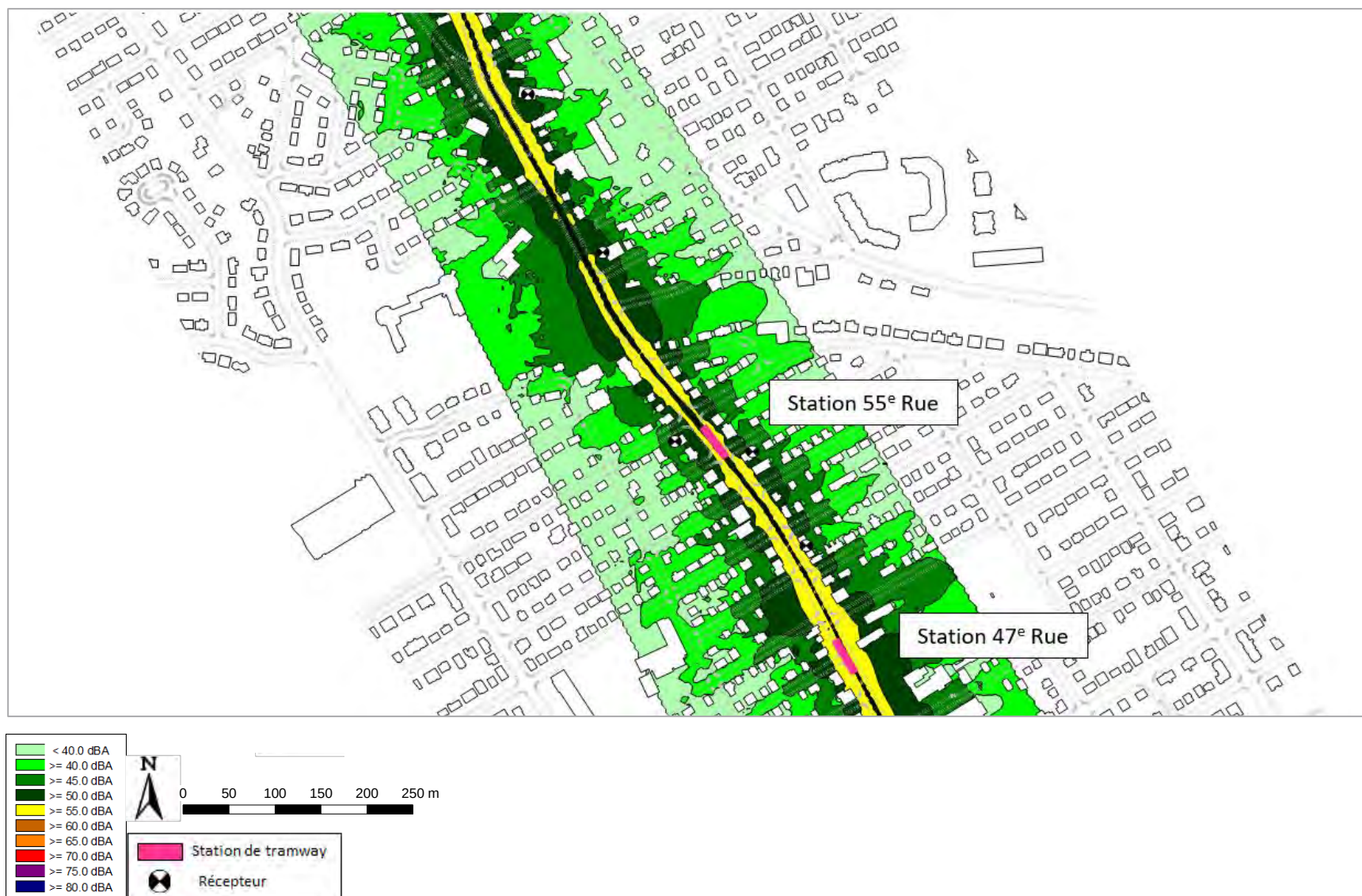


Figure 176 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 55^e Rue – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

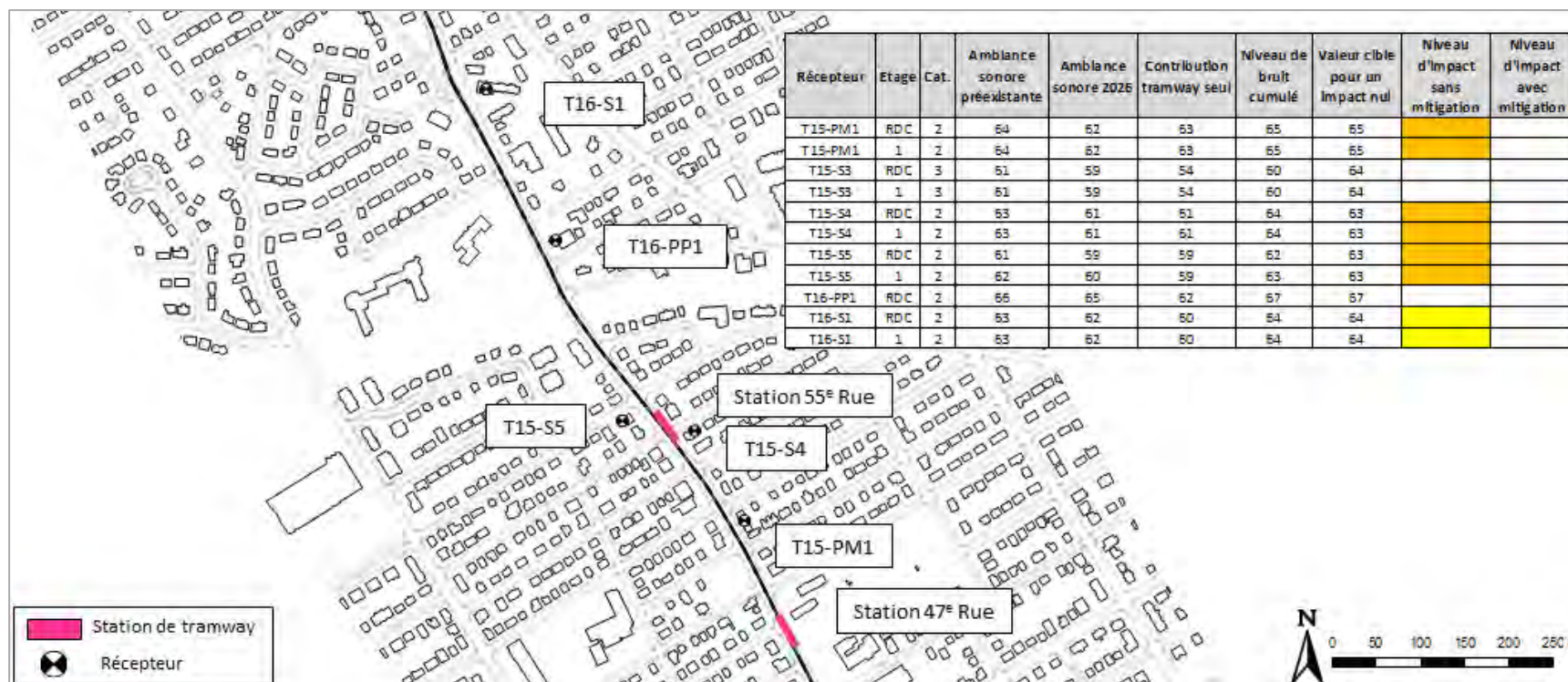


Figure 177 : Impact direct du projet avec mesures de réduction - Secteur 55^e Rue – Échelle 1/4000^e



Figure 178 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 76^e Rue – Niveau de bruit L_D – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 179 : Cartographie de bruit pour le tramway seul avec mesures de réduction – Secteur 76^e Rue – Niveau de bruit L_N – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

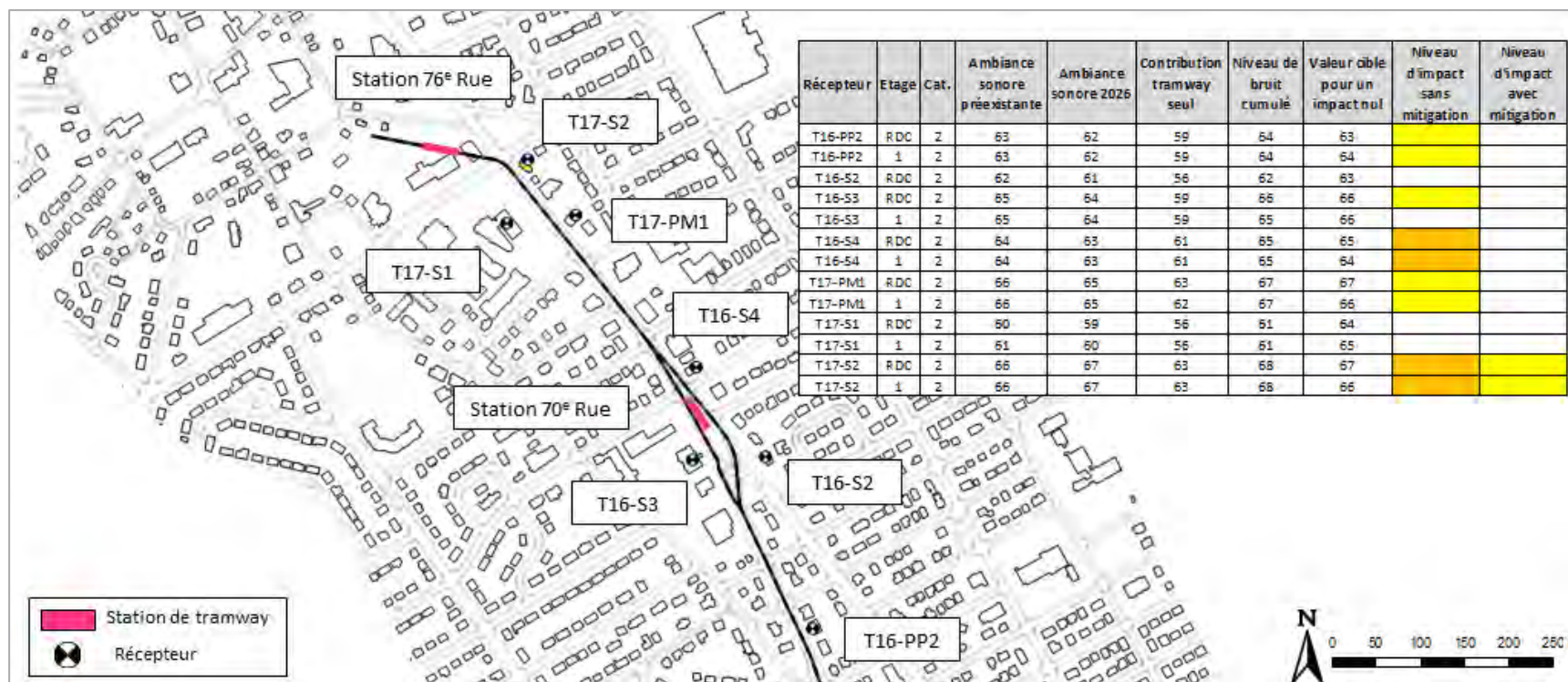


Figure 180 : Impact direct du projet avec mesures de réduction – Secteur 76^e Rue – Échelle 1/4000^e

Résumé

Après prise en compte des mesures de mitigation, les simulations montrent que le projet n'a pas d'impact sonore selon les critères du guide « FTA » sur la majeure partie de la ligne (95 %). Il est à noter que le niveau de bruit ambiant (toutes sources de bruit prises en compte) diminue même assez sensiblement dans certains secteurs, représentant au total un linéaire de 4,8 km (soit 21 % de la longueur totale).

En marge de ces bons résultats, il reste cependant trois bâtiments et un secteur où l'ambiance sonore risque d'être augmentée sensiblement.

- Un bâtiment résidentiel situé à proximité d'une courbe prononcée à l'intersection du Chemin des Quatre-Bourgeois et de l'avenue Pie-XII, est modérément affecté (dépassement de +3 dB environ). Il est vraisemblable qu'un renforcement de l'isolation acoustique de la façade exposée soit nécessaire pour atteindre la valeur cible. Cet aspect sera étudié lors de la phase d'ingénierie de détails.
- Un bâtiment résidentiel situé à proximité d'une courbe prononcée à l'intersection du boulevard Henri-Bourassa et de la 76^e Rue E est faiblement affecté (dépassement inférieur à +2 dB). Un programme d'entretien régulier des rails grâce à des opérations de meulage « acoustique » des rails plus régulier dans le temps (dans ce secteur) devrait permettre de respecter l'objectif de seuil. Cet aspect sera étudié lors de la phase d'ingénierie de détails.
- Un bâtiment résidentiel situé dans l'avenue McCartney le long du corridor de transport d'énergie est légèrement affecté en raison de l'influence des sources en toiture. Ce résultat montre qu'il faudra être vigilant sur les niveaux de bruit émis par les équipements en toiture du tramway. Cet aspect fera l'objet de spécifications acoustiques.
- Une zone (rue de la Couronne) est affectée faiblement par le projet en raison, notamment d'une augmentation du trafic routier (+65 %) et ce malgré la suppression du trafic des autobus sur cette portion. L'augmentation du bruit routier est de +1 dB et le bruit ambiant total est quant à lui augmenté entre 1 et 2 dB.

8.4 ANALYSE DE L'IMPACT ACOUSTIQUE LIÉ AU CENTRE D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN (CEE)

Deux centres d'exploitation et d'entretien (CEE) sont prévus dans le projet afin d'entretenir les véhicules. Ils seront situés à proximité de la station Mendel et de la station 41^e Rue, comme illustré en figure suivante.



Figure 181 : Repérage des CEE : Station Mendel et Station 41^e Rue

Cette partie de l'étude porte uniquement sur l'émission sonore liée au CEE proche de la station 41^e Rue. Le CEE proche de la station Mendel se situe dans une zone où il n'y a pas de bâtiments susceptibles d'être affectés par ce centre, alors que le second se situe en zone urbaine.

Pour rappel, les objectifs acoustiques sont respectés pour les différents récepteurs étudiés dans la zone du centre de remisage, avec un matériel roulant ayant un niveau de bruit de passage de 76 dB à 7,5 m pour une vitesse de 40 km/h.

L'objet de cette section est de s'assurer que l'implantation de ce CEE permettra également un respect des objectifs fixés.

La principale source de bruit liée à ce centre provient du trafic d'entrée et de sortie des tramways. Toutes les opérations d'entretien se dérouleront à l'intérieur du bâtiment, et celui-ci devra donc être suffisamment isolé acoustiquement pour que les différentes opérations ne viennent pas perturber l'ambiance sonore à l'extérieur.

Deux hypothèses de tracé, reliant le CEE et la voie du tramway sont à l'étude comme l'illustre la **Figure 182** :

- Tracé le long de la 41^e Rue O (voie nord- trait vert);
- Tracé le long de la Rue de la Sapinière Dorion O (voie sud – trait bleu).

Les hypothèses de dimensions du bâtiment sont de 400 m par 60 m pour une hauteur de 8 m. Ce CEE a une capacité de 20 rames maximum. Les mouvements de véhicules pour une journée sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 : Trafic d'entrée et sortie pour le centre de remisage - Station 41^e Rue

Heure	Entrée	Sortie
5 h – 6 h	0	20
9 h – 10 h	10	
14 h – 15 h		10
18 h – 19 h	10	
0 h – 1 h	10	
TOTAL	Jour	Nuit
	30	30

La vitesse de circulation du tramway entre le tracé principal de la voie du tramway et le CEE est 30 km/h et la jonction entre le CEE et la voie principale a un rayon courbure inférieur à 100 m (présence de bruit de crissement).

Les bâtiments représentatifs de la zone d'étude ainsi que les deux voies (nord et sud) du tracé reliant le tracé principal au CEE sont désignés sur la figure ci-dessous.

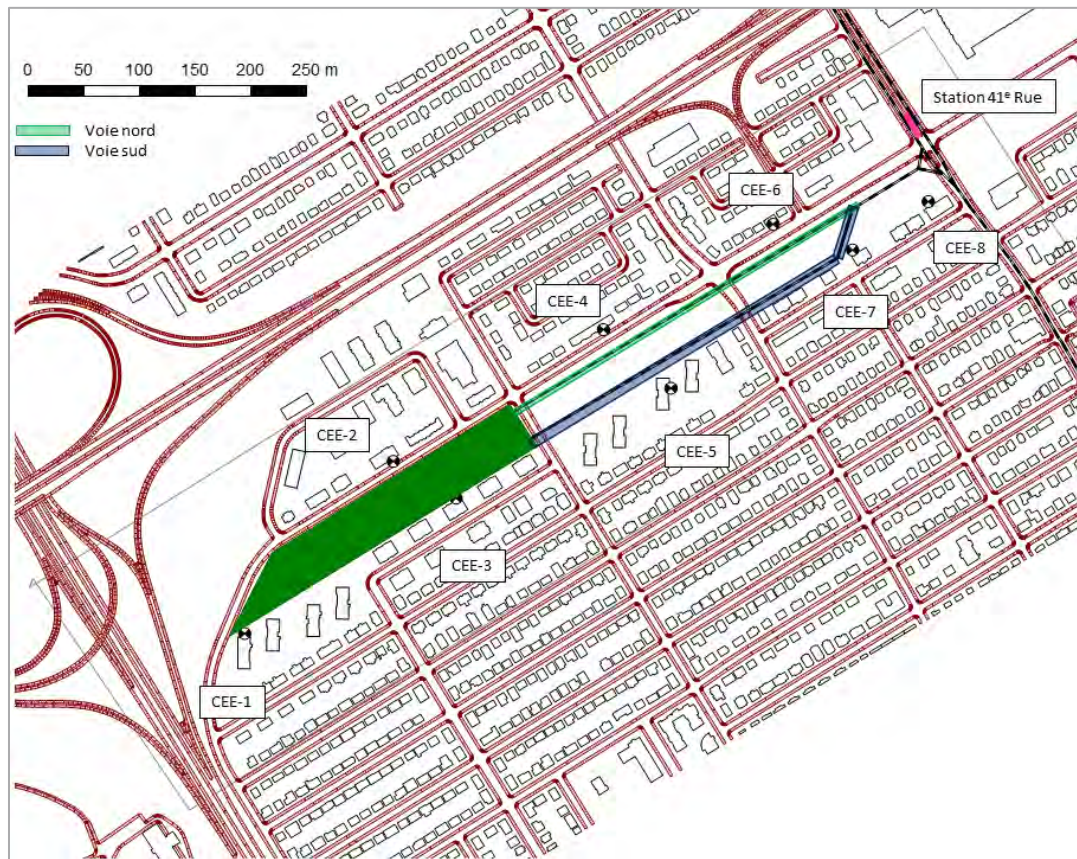


Figure 182 : Récepteurs proches du centre de remisage – station 41^e Rue

Les résultats de modélisation montrent que l’ambiance sonore existante est considérée comme bruyante ceci notamment dû à la proximité des deux autoroutes, comme le montre les **Figure 182** et **Figure 183** ci-dessous.



Figure 183 : Cartographie de l'ambiance sonore existante dans le secteur du second CEE – Niveau de bruit L_p – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e



Figure 184 : Cartographie de l'ambiance sonore existante dans le secteur du second CEE – Niveau de bruit L_n – Hauteur 4 m – Échelle 1/4000^e

Pour les deux tracés, l'emplacement du CEE n'a pas d'impact par rapport au critère de seuil retenu. En effet, le bruit ambiant existant est déjà très élevé et le nombre de passages de tramway réparti sur la journée est faible.

Tableau 22 : Niveau d'impact des récepteurs proches du CEE le long de la voie nord – Station 41^e Rue

Récepteur	Etage	Cat.	Ambiance sonore préexistante	Ambiance sonore 2026	Contribution tramway seul	Niveau de bruit cumulé	Valeur cible pour un impact nul	Niveau d'impact
CEE-1	0	2	63	63	63	63	63	
CEE-1	1	2	63	63	63	63	64	
CEE-2	0	2	63	64	64	64	63	
CEE-2	1	2	62	63	63	63	63	
CEE-3	0	2	60	60	60	60	61	
CEE-3	1	2	59	59	59	59	61	
CEE-4	0	2	61	62	62	62	62	
CEE-4	1	2	60	61	62	62	62	
CEE-5	0	2	60	60	61	61	62	
CEE-5	1	2	61	61	61	61	62	
CEE-6	0	2	65	66	66	66	66	
CEE-7	0	2	66	66	66	66	67	
CEE-7	1	2	66	66	66	66	67	
CEE-7	2	2	66	66	66	66	66	
CEE-8	0	3	66	66	67	67	69	
CEE-8	1	3	67	67	67	67	69	

Tableau 23 : Niveau d'impact des récepteurs proches du CEE le long de la voie sud – Station 41^e Rue

Récepteur	Etage	Cat.	Ambiance sonore préexistante	Ambiance sonore 2026	Contribution tramway seul	Niveau de bruit cumulé	Valeur cible pour un impact nul	Niveau d'impact
CEE-1	RDC	2	63	63	1	63	63	
CEE-1	1	2	63	63	7	63	64	
CEE-2	RDC	2	63	64	41	64	63	
CEE-2	1	2	62	63	40	63	63	
CEE-3	RDC	2	60	60	43	60	61	
CEE-3	1	2	59	59	42	59	61	
CEE-4	RDC	2	61	62	52	62	62	
CEE-4	1	2	60	61	51	62	62	
CEE-5	RDC	2	60	60	57	62	62	
CEE-5	1	2	61	61	57	62	62	
CEE-6	RDC	2	65	66	54	66	66	
CEE-7	RDC	2	66	66	58	67	67	
CEE-7	1	2	66	66	58	67	67	
CEE-8	RDC	3	66	66	59	67	69	
CEE-8	1	3	67	67	59	67	69	



Cependant, à ce stade de l'étude, les appareils de voies n'ont pas encore été modélisés. Ces appareils représentent une source de bruit supplémentaire pour le matériel roulant (augmentation du niveau de bruit au passage à 7,5 m attendu de +3 dB). Cette source risque d'avoir un effet sur le niveau d'impact des récepteurs. Lorsque les détails d'implantation de ces appareils seront connus, de nouveaux calculs pourront être réalisés afin d'analyser le risque d'impact.

Les sources fixes (climatisation, ventilation, générateur, etc.) du centre de remisage et pouvant avoir un impact acoustique vers l'extérieur du bâtiment n'ont pas été prises en compte (localisation et types d'équipements non précisés). Ce type de source pouvant générer des niveaux de bruits importants, une étude d'impact acoustique approfondie devra également être réalisée lorsque les détails d'implantation seront connus.

9. MAÎTRISE DES ÉMISSIONS SONORES POUR LES SECTIONS SOUTERRAINES

Lorsque le tramway se déplace dans les sections souterraines, le tunnel et le sol font obstacle à la propagation du bruit aérien et empêchent celui-ci d'atteindre directement les bâtiments alentour.

Cependant, la présence de sources de bruit dans le tunnel et de conduits aérauliques entre le tunnel et l'extérieur peut présenter un risque d'impact qu'il convient de maîtriser.

Les sources de bruit à l'intérieur des sections souterraines peuvent être de deux types :

- l'évacuation de l'air dans les gaines ou puits de décompression au passage du tramway;
- les équipements techniques : climatisation, chauffage, ventilation, traitement de l'air, désenfumage, transformation de courant et relevage des eaux.

Les niveaux de puissance acoustiques des équipements techniques dépendent des modèles d'équipements sélectionnés. Les niveaux de puissance acoustiques des sources fixes peuvent être particulièrement élevés (d'environ 70 dB(A) pour les petites centrales de traitement d'air à plus de 120 dB(A) pour les ventilateurs de désenfumage pour grands volumes).

Ces sources peuvent se trouver au niveau des stations souterraines ou des ouvrages techniques.

À ce stade du projet, la présence de gaines ou puits de décompression n'est pas connue. De même, le choix des équipements techniques n'est pas connu. La suite de ce chapitre présente la démarche générale d'évaluation de l'impact acoustique de ces sources, ainsi que les différents types de mesures de réduction de bruit envisageables pour le projet.

9.1 DÉMARCHE GÉNÉRALE

L'étude d'impact acoustique des équipements fixes se déroule en deux étapes :

- Calcul du niveau sonore de l'équipement en sortie de grille, à l'extérieur, après prise en compte de la puissance acoustique de l'équipement et calcul de l'atténuation acoustique dans les conduits aérauliques;
- Calcul du niveau sonore au récepteur choisi, après propagation du son dans l'air.

La méthodologie mise en œuvre afin de simuler les niveaux sonores en environnement est présentée par le diagramme suivant :

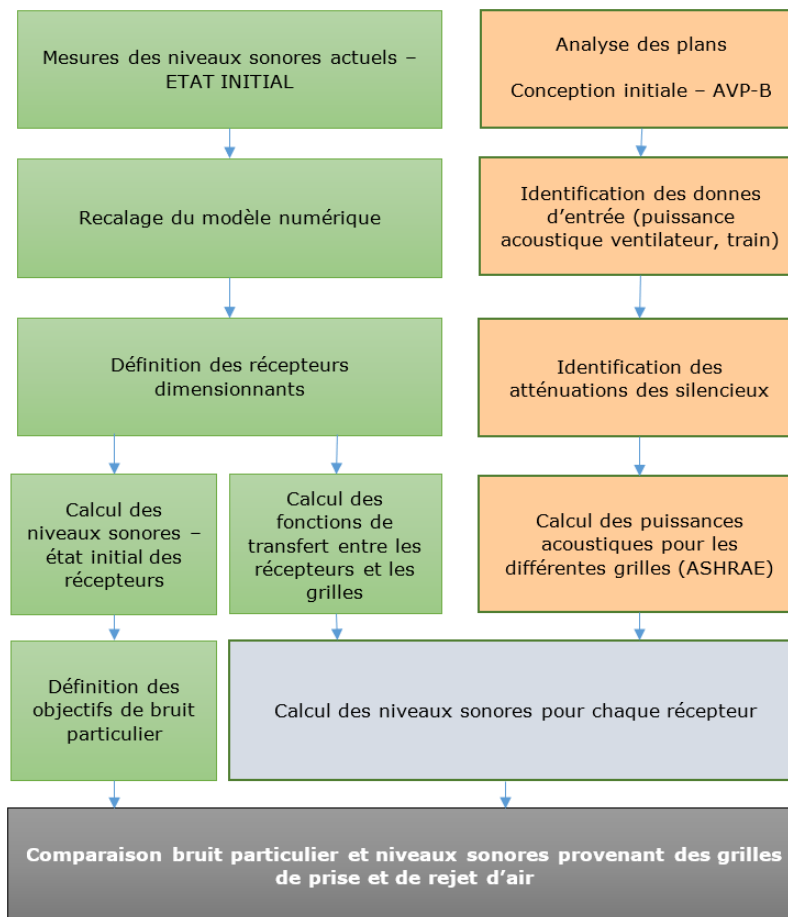


Figure 185 : Méthodologie définie pour le calcul des niveaux sonores en environnement

Le niveau de puissance acoustique en sortie de grille, noté Lw_{grille} , est calculé à l'aide de la méthode **ASHRAE** [12][15]. Cette méthode de calcul fournit un cadre pour la détermination des effets acoustiques dans les circuits aérauliques et tient compte des : équipements, silencieux, coudes et plenums.

En connaissant le niveau de puissance acoustique en sortie de grille, on peut calculer la fonction de transfert qui est définie comme la différence entre le niveau de puissance acoustique de la grille et le niveau de pression acoustique au récepteur choisi. La fonction de transfert caractérise donc la propagation du son entre la source et le récepteur :

$$\text{Fonction de tranfert} = Lw_{grille} - Lp_{récepteur}$$

La fonction de transfert est propre à chaque site et le modèle permettant de la calculer prend en compte l'atténuation géométrie, la topographie, les bâtiments, l'absorption du sol et l'absorption atmosphérique. Elle est calculée avec un logiciel de calcul d'acoustique environnementale, tel que CadnaA.

Un exemple de profil de propagation du son depuis une grille de ventilation positionnée au niveau du sol est illustré sur la figure suivante.

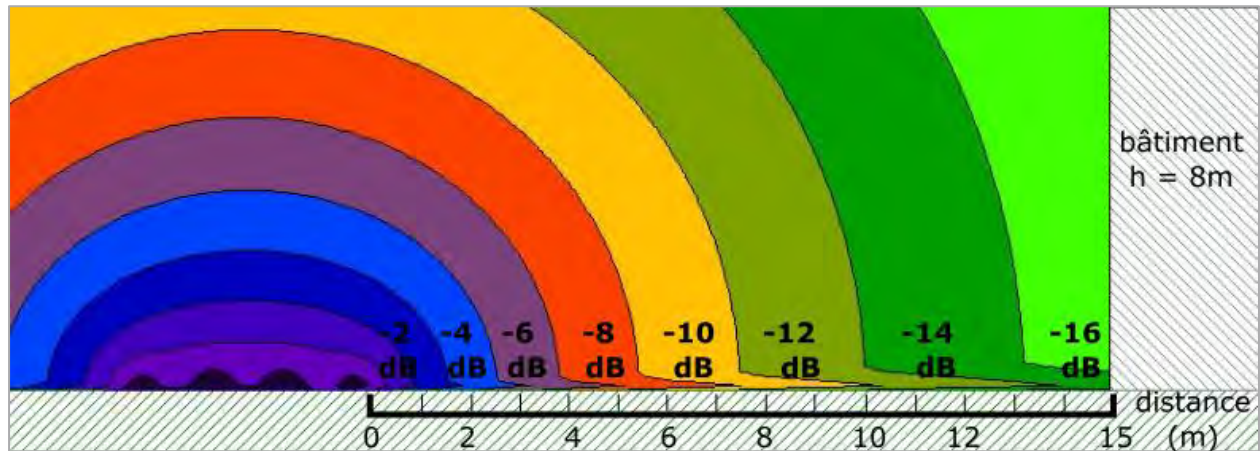


Figure 186 : Exemple de profil de propagation du son en sortie d'une grille de ventilation - sol réfléchissant

La figure ci-dessous présente schématiquement la méthodologie de calcul :

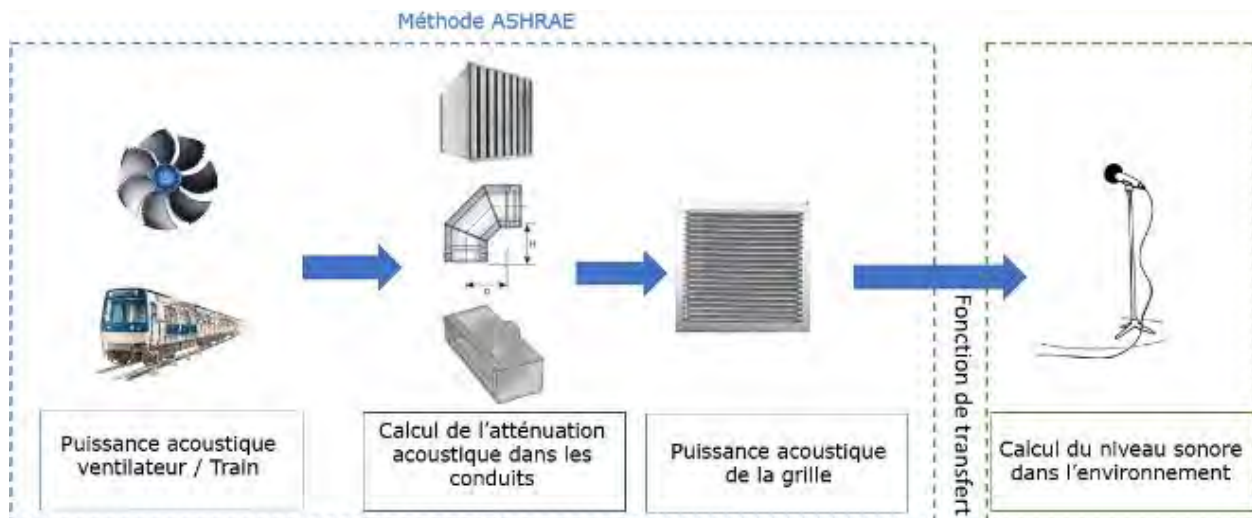


Figure 187 : Synoptique du calcul ASHRAE

9.2 EXEMPLES DE SOLUTIONS DE RÉDUCTION DE BRUIT POUR LES SECTIONS SOUTERRAINES

Plusieurs types de mesures de réduction de bruit existent et doivent être sélectionnés et dimensionnés pour répondre aux contraintes du projet. Les différents types sont présentés ci-après.

9.2.1 Silencieux à baffles parallèles



Figure 188 : Illustration d'un silencieux à baffles parallèles

Les silencieux à baffles parallèles s'insèrent dans les conduites rectangulaires de toutes tailles. Le principe de fonctionnement est le suivant : lorsque le flux d'air arrive au niveau du silencieux, il est forcé de le traverser. L'intérieur est composé de baffles garnis de matériaux absorbants protégés par une tôle perforée ou bien par un surfaçage en voile de verre. L'entrée des baffles peut être arrondie pour limiter les pertes de charge (bec d'attaque).

Des exemples de gains possibles sont rassemblés dans les tableaux suivants.

Tableau 24 : Atténuation type d'un silencieux avec des baffles de 100 mm espacés de 100 mm (dB) selon sa longueur

Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L = 900 mm	3	4	10	18	27	30	28	18
L = 1500 mm	4	6	15	28	42	48	44	28
L = 2400 mm	5	9	22	45	50	50	50	40

Tableau 25 : Atténuation type d'un silencieux avec des baffles de 200 mm espacés de 100 mm (dB) selon sa longueur

Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L = 900 mm	6	11	18	27	34	36	28	22
L = 1500 mm	7	15	30	45	50	50	45	35
L = 2400 mm	11	22	46	50	50	50	50	50

Les remarques suivantes ressortent de ces tableaux :

- Comme attendu, plus les silencieux sont longs, plus ils atténuent dans toutes les bandes de fréquences;
- Plus les baffles sont épais, plus ils atténuent aux basses fréquences;
- Plus l'espace entre les baffles est grand, moins le silencieux est efficace, en particulier aux basses et hautes fréquences;
- À partir d'une certaine longueur, l'efficacité du silencieux n'augmente plus.

De plus, la vitesse d'air dans les silencieux doit être maîtrisée afin d'éviter les risques de défibrage du matériau absorbant et de régénération de bruit. C'est la raison pour laquelle il est souvent nécessaire d'élargir une gaine avant d'y insérer un silencieux.

9.2.2 Silencieux cylindriques

Les silencieux cylindriques fonctionnent de la même manière que les silencieux à baffles parallèles, mais s'insèrent dans des conduites à section circulaire. Le flux d'air est contraint de passer au travers d'une chambre revêtue d'absorbant protégé par une tôle perforée ou bien par un surfaçage en voile de verre. Il est possible d'ajouter un bulbe au milieu du cylindre, afin d'améliorer son efficacité. La forme du bulbe est étudiée dans le but de limiter les pertes de charge. Ces éléments se cantonnent aux gaines de petites dimensions (diamètre maximum d'environ 800 mm). L'épaisseur du matériau absorbant a également un impact sur l'efficacité du silencieux.



Figure 189 : Illustration d'un silencieux cylindrique

A titre informatif, des exemples de gains possibles sont rassemblés dans les tableaux suivants.

Tableau 26 : Atténuation type d'un silencieux cylindrique sans bulbe d'épaisseur 50 mm et de diamètre 100 mm (dB) selon sa longueur

Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L = 500 mm	3	5	8	14	23	30	18	13
L = 1000 mm	4	9	15	27	42	50	43	25

Tableau 27 : Atténuation type d'un silencieux cylindrique avec bulbe d'épaisseur 100 mm et de diamètre 400 mm (dB) selon sa longueur

Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L = 500 mm	1	4	8	16	21	20	21	18
L = 1000 mm	3	7	13	25	40	38	29	21
L = 1500 mm	6	10	17	33	50	50	40	26

Ces tableaux font émerger les remarques suivantes :

- Comme attendu, plus la longueur augmente, plus l'efficacité s'améliore;
- Plus le diamètre augmente, plus l'atténuation diminue (à épaisseur d'absorbant égale);
- Lorsque l'épaisseur d'absorbant augmente, l'atténuation augmente également;
- L'ajout d'un bulbe améliore grandement l'efficacité (attention cependant à la vitesse d'air).

9.2.3 Grilles acoustiques

Les grilles acoustiques sont constituées de lames revêtues de matériaux absorbants permettant d'atténuer le bruit. Dans les cas les plus sévères, il est possible d'en placer deux dos à dos dans le but d'améliorer l'efficacité. Des modèles pare-pluie existent et permettent de déployer ce type de solution en façade de bâtiments. Cependant, les grilles acoustiques s'utilisent uniquement à vitesse d'air faible, car elles génèrent beaucoup de pertes de charge.



Figure 190 : Illustration d'une grille acoustique en sortie de conduit aéraulique

A titre indicatif, des exemples de gains possibles sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 28 : Atténuation type d'une grille acoustique en sortie de gaine

Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Grille simple	3	3	4	9	14	17	13	13
Grille double	4	5	6	13	25	27	21	13

9.2.4 Traitements absorbants

Les traitements absorbants peuvent apporter des gains non négligeables, en particulier s'ils sont utilisés dans des coudes droits ou bien dans des plénums. Il est également possible de les déployer à l'intérieur des gaines de ventilation, ou sur les parois des locaux techniques si les équipements aspirent l'air en vrac dans ces locaux. Il s'agit une fois de plus d'un matériau absorbant protégé par une tôle perforée ou bien par un tissu de verre.

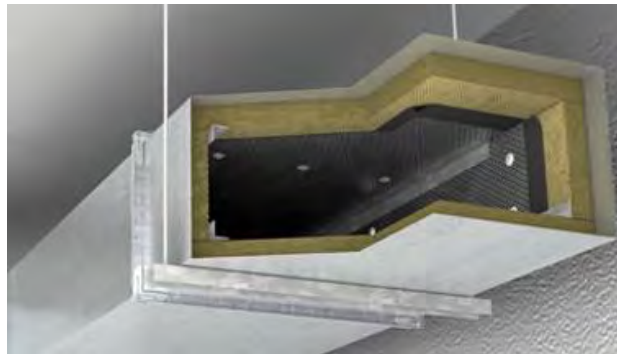


Figure 191 : Illustration d'un traitement absorbant en gaine

Aucun exemple d'atténuation n'est présenté ici, car le gain obtenu est fonction de beaucoup de paramètres, et notamment :

- De la position du matériau (le long d'une gaine, dans un plénum, dans un coude, etc.);
- De l'épaisseur du matériau;
- Du type de matériau choisi;
- Du taux de perforation;
- Du pourcentage de surface traité.

9.2.5 Atténuation et régénération du bruit des éléments présents dans les chemins aérauliques

En plus des différents moyens de réduction du bruit (silencieux, grilles acoustiques et traitements absorbants), d'autres éléments sont présents dans les chemins aérauliques :

- Des clapets coupe-feu;
- Des registres *by-pass*;
- Des plénums;
- Des coudes.

La régénération et l'atténuation du bruit lorsqu'un flux d'air passe au travers d'un de ces éléments sont fonction de plusieurs variables :

- Pour les clapets coupe-feu, le bruit régénéré dépend du nombre de lames et de leur épaisseur, ainsi que de la vitesse du flux d'air;
- Pour les plénums, l'atténuation dépend essentiellement des dimensions de la cavité et de l'angle entre la bouche d'entrée et la bouche de sortie;
- Pour les coudes, l'atténuation et la régénération dépendent des dimensions des sections d'entrée et de sortie, mais aussi de la forme du coude (droit ou arrondi).

10. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Une étude acoustique visant à analyser l'impact sonore du projet de la future ligne de tramway urbain de la ville de Québec, en phase d'exploitation, a été réalisée.

Une phase préliminaire de l'étude a consisté à étudier l'applicabilité des textes réglementaires du Québec et du Canada pour fixer des objectifs en termes de niveaux de bruit à ne pas dépasser. Une revue complète de ces textes a été réalisée en ce sens. Il en résulte qu'il n'existe pas de texte réglementaire applicable permettant l'évaluation et la limitation de l'exposition au bruit émis par l'exploitation d'une nouvelle infrastructure de transport ferroviaire. Les indicateurs utilisés et les valeurs limites de ces textes ne sont pas appropriés pour ce type de source sonore. Il a été donc convenu que les objectifs sonores et la méthodologie employée pour analyser les risques d'impact s'appuieraient sur les recommandations du guide de référence « FTA » publié par *Federal Transit Administration* aux États-Unis d'Amérique. Les objectifs définis dans le guide « FTA » fréquemment utilisé (au-delà des frontières des États-Unis) sont parfaitement adaptés à une infrastructure nouvelle telle que la future ligne de tramway de Québec; les valeurs cibles tiennent compte de la sensibilité des activités dans les bâtiments exposés et du niveau de bruit préexistant. Ces valeurs cibles sont également appliquées pour l'analyse de l'impact de la circulation des rames de tramway au niveau des Centres d'Entretien et d'Exploitation.

Concernant le bruit généré en surface à proximité des grilles de circulation d'air au voisinage des stations souterraines, il a été convenu d'appliquer le règlement municipal sur le bruit R.V.Q. 978 du 1er mai 2019 et la note d'instructions du MELCC LRQ (c. Q-2, articles 20 et 22, Juin 2006) relatif au « Traitement des plaintes sur le bruit et exigences aux entreprises qui le génèrent ».

Dans un second temps, une campagne de mesures a été réalisée en juin 2019 (avant la période de vacances scolaires) puis en septembre 2019 dans le but de déterminer l'ambiance sonore actuelle dans le secteur d'aménagement de la future ligne de tramway.

Un modèle acoustique en 3D simulant les niveaux de bruit préexistant le long du tracé a été réalisé afin de caractériser le climat sonore en façade de l'ensemble des bâtiments exposés aux émissions sonores du tramway. Le modèle acoustique est tout d'abord recalé et validé, en se basant sur les niveaux de bruit qui ont été mesurés. La connaissance des niveaux de bruit préexistant au niveau de chaque bâtiment exposé permet de déduire les valeurs cibles de bruit dû au projet du tramway, à ne pas dépasser.

Les niveaux d'enjeu acoustique ont été définis par secteur, en considérant deux paramètres : l'ambiance sonore actuelle (calme, modérée ou non modérée sur la période diurne et nocturne) et la sensibilité des activités dans les (logement, établissement de santé, établissement d'enseignement, etc.). Les niveaux d'enjeu, définis comme faible, modéré ou fort, permettent d'identifier les zones qui requièrent une vigilance particulière, et a contrario les zones sans véritable enjeu acoustique.

Les secteurs ayant des enjeux forts actuels sont les suivants :

- Le corridor de transport d'énergie entre le boulevard du Versant-Nord et le chemin des Quatre-Bourgeois;
- Le chemin des Quatre-Bourgeois entre l'avenue Pie-XII et l'avenue Bégon;
- L'avenue Roland-Beaudin;
- La 1^{re} Avenue entre la 7^e Rue et 18^e Rue.

La majorité du reste du tracé est considérée comme à enjeu faible ou modéré.

Par la suite, le modèle acoustique est modifié de sorte à calculer les niveaux de bruit ambiants occasionnés par le projet. Les niveaux de bruit sont calculés pour la période diurne (7 h – 22 h) et la période nocturne (22 h – 7 h).

Le modèle est géré de sorte à pouvoir calculer d'une part l'ambiance sonore liée à l'exploitation du tramway considéré seul, et d'autre part les effets sur l'ambiance sonore des changements de trafic routier.

Les caractéristiques acoustiques précises du matériel roulant ne sont pas fixées à ce stade. Une hypothèse d'émission sonore du matériel roulant a donc été proposée à partir d'une étude bibliographique et des données d'émission sonore de tramways récents contenues dans la base de données de SYSTRA. Les hypothèses considérées sont modérément conservatrices.

Les données de trafic routier considérées sont les Débits Moyens Journaliers Annuels (DMJA) estimés à l'horizon 2026, qui viennent remplacer dans le modèle les données de trafic routier actuel. Les données DMJA ne distinguant pas les catégories de véhicules (voitures, motocycles, autobus, etc.), les prévisions du trafic des autobus en 2026, dans les voiries empruntées par le tramway, fournies par le RTC, sont prises en compte en complément. Dans la grande majorité des cas, le trafic de bus est considéré nul dans les voiries où s'insérera le tramway.

Les sources sonores fixes situées principalement au voisinage des sections de ligne souterraine, ne sont pas prises en compte dans cette étude, car le risque d'impact associé est considéré secondaire au regard de celui associé aux bruits émis par la circulation du tramway sur les sections de la ligne en surface.

Les résultats de simulation des niveaux sonores dus au projet du tramway de Québec ont été comparés aux valeurs cibles, qui pour rappel, ont été définies en fonction de la sensibilité des bâtiments et du niveau sonore ambiant actuel, selon les recommandations du guide « FTA ».

L'analyse des résultats montre que l'impact sonore dû à l'exploitation du projet, sans mesures d'atténuation, est généralement faible (dépassement inférieur à +2 dB) ou modéré (dépassement entre +2 dB et +5 dB).

Les résultats indiquent qu'une partie du tracé n'est pas affectée. Les zones où l'impact sonore est faible sont étendues. Pour certaines zones, l'insertion du projet dans l'urbanisme est même considérée comme bénéfique d'un point de vue acoustique.

Il existe au total deux secteurs où l'impact sonore du projet est fort, c'est-à-dire où les valeurs cibles sont dépassées de plus de 5 dB(A) :

- Entre le boulevard du Versant-Nord et la station Pie-XII : l'ambiance sonore actuelle à l'arrière des logements situés le long de l'avenue Pie-XII et le chemin des Quatre-Bourgeois étant calme, des dépassements jusqu'à +12 dB(A) sont constatés. Ces forts niveaux de dépassement sont également liés à une vitesse du tramway relativement élevée (70 km/h);
- Dans la rue de la Couronne, le trafic routier augmentant de +65 % en global, la contribution du bruit routier augmente d'environ 1 dB malgré la suppression du trafic d'autobus sur cette portion. L'augmentation du bruit total (tramway + routier) est entre 3 et 4 dB(A) selon le point considéré.

Dans les secteurs où le niveau sonore projeté dépasse les critères acoustiques, des mesures de réduction du bruit ont été définies. Les différentes solutions appropriées pour réduire le bruit sont composées de mesures de réduction du bruit « à la source », et dans les secteurs où ces mesures ne suffisent pas, de mesures de protection phonique (barrières antibruit) et/ou de mesures de renforcement de l'isolation acoustique des façades des bâtiments.

Les hypothèses de mesures de réduction du bruit « à la source » envisagées à ce stade du projet sont les suivantes :

- Dispositif contre le crissement en courbe;
- Programme d'entretien « acoustique » de la voie;
- Spécification acoustique du véhicule.

Entre le boulevard du Versant-Nord et la station Pie-XII, il est nécessaire d'insérer un écran acoustique d'une hauteur d'environ 2,5 m des deux côtés de la ligne.

Après prise en compte des mesures d'atténuation, les simulations montrent que le projet n'a pas d'impact sonore selon les critères du guide « FTA » sur la majeure partie de la ligne (95 %). Il est à noter que le niveau de bruit ambiant (toutes sources de bruit prises en compte) diminue même assez sensiblement dans certains secteurs, représentant au total un linéaire de 4,8 km (soit 21 % de la longueur totale).

En marge de ces bons résultats, il reste cependant trois bâtiments et un secteur où l'ambiance sonore risque d'être augmentée sensiblement.

- Un bâtiment résidentiel situé à proximité d'une courbe prononcée à l'intersection du chemin des Quatre-Bourgeois et de l'avenue Pie-XII, est modérément affecté (dépassement de +3 dB environ). Il est vraisemblable qu'un renforcement de l'isolation acoustique de la façade exposée soit nécessaire pour atteindre la valeur cible. Cet aspect sera étudié lors de la phase d'ingénierie de détails.
- Un bâtiment résidentiel situé à proximité d'une courbe prononcée à l'intersection du boulevard Henri-Bourassa et de la 76^e Rue E est faiblement affecté (dépassement inférieur à +2 dB). Un programme d'entretien régulier des rails grâce à des opérations de meulage « acoustique » des rails plus régulier dans le temps (dans ce secteur) devrait permettre de respecter l'objectif de seuil. Cet aspect sera étudié lors de la phase d'ingénierie de détails.
- Un bâtiment résidentiel situé dans l'avenue McCartney le long du corridor de transport d'énergie est légèrement affecté en raison de l'influence des sources en toiture. Ce résultat montre qu'il faudra être vigilant sur les niveaux de bruit émis par les équipements en toiture du tramway. Cet aspect fera l'objet de spécifications acoustiques.
- Une zone (rue de la Couronne) est affectée faiblement par le projet, en raison notamment d'une augmentation du trafic routier (+65 %) et ce malgré la suppression du trafic des autobus sur cette portion. L'augmentation du bruit routier est de +1 dB et le bruit ambiant total est quant à lui augmenté entre 1 et 2 dB.
- Les simulations réalisées dans cette étude ont été effectuées sur la base des données d'entrées accessibles à ce jour. Les hypothèses sont détaillées dans le rapport. Le Consortium aura la charge de mettre à jour la modélisation acoustique à plusieurs stades de la phase de conception détaillée, de sorte à maîtriser les risques d'impact sonore jusqu'aux essais de réception, en intégrant les effets des changements notables des paramètres du projet tels que le tracé, la vitesse, le débit, les DMJA, les hypothèses d'émission sonore du matériel roulant, etc.

11. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents de référence utilisés dans cette étude sont les suivants :

- [1] Le bruit du trafic routier et ferroviaire : ses effets sur l'habitation. Publication de la SCHL (Société canadienne des hypothèques et du logement (NH 15-27/1981 FRA).
- [2] Étude de pollution sonore pour infrastructures routières existantes - Méthodologie. Service de l'Environnement du Ministère des Transports du Québec. N° dossier 5.08.06-02-011, avril 1989.
- [3] Politique sur le bruit routier. Service de l'Environnement du Ministère des Transports du Québec. ISBN 2-550-32740-3 (Mars 1998).
- [4] Règlement sur le Bruit R.V.Q 978 du 1^{er} mai 2019. Ville de Québec. Service des affaires juridiques.
- [5] Traitement des plaintes sur le bruit et exigences aux entreprises qui le génèrent. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Références légales : LRQ (c. Q-2), articles 20 et 22 (Juin 2006).
- [6] A Quagliata, M. Ahearn, E. Boeker, C. Roof, L. Meister & H. Singleton. *Transit Noise and Vibration Impact Assessment. Federal Transit Administration (USA) report FTA Report No. 0123* (Septembre 2018).
- [7] Les Collections de l'INRETS. Bruit et vibrations dus aux tramways : Émission et perception. Rapport INRETS n° 279. Décembre 2009.
- [8] CERTU. Bibliographie sur l'émission acoustique des tramways. Modélisation des véhicules étendus par des sources sonores ponctuelles. Mars 2009.
- [9] Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002.
- [10] Étude acoustique préliminaire du projet de tramway à Québec. Note technique préparée par la société Stantec (N°15270060 – 200 / 6 novembre 2018).
- [11] Réseau électrique métropolitain. Étude de l'impact sur l'ambiance sonore déposée au ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Rapport CDPQ Infra inc. N° 362496-HA-00-APP-066-EI-066-003_V01 (Novembre 2016).
- [12] Algorithms for HVAC Acoustic, Reynolds, D. D., Bledsoe, J. M. (1990). In M. Geshwiler, Atlanta, GA: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*.
- [13] SNCF Réseau et France Nature Environnement : Le bruit ferroviaire en question & réponses (Décembre 2018).
- [14] Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), S. Kephelopoulou, M. Paviotti & F. Anfosso-Lédée (2012).
- [15] Bruit des équipements - Collection des guides de l'AICVF - Édition PYC – 1997.
- [16] Arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires.
- [17] [État d'avancement mensuel du 03/06/2019.](#)

- [18] Étude d'exploitation préliminaire du lien structurant (FR01T19A18.T.EAK).
- [19] Étude de faisabilité technique du tramway de Québec et de Lévis (610879-0200-4IEC-0001).
- [20] Analyse bibliographie des travaux français et européens : « Le coût social des pollutions sonores », Étude réalisée pour le CNB et l'ADEME par EY, Mai 2016.
- [21] Production des cartes de bruit stratégiques des grands axes routiers et ferroviaires. Sétra. Août 2017.
- [22] Guide de bonnes pratiques de la cartographie du bruit stratégique et la production de données associées sur l'exposition au bruit. 13 janvier 2006. Groupe de travail de la Commission européenne sur l'évaluation de l'exposition au bruit (WG-AEN).
- [23] Position Paper WG 2 – Commission européenne, 20 février 2002.



ANNEXE A

Critères détaillés d'impact sonore selon le guide FTA

Les critères d'acceptation selon le guide FTA sont résumés dans le tableau suivant. Il s'agit des valeurs au-dessus desquelles il existe un risque d'impact modéré. Ce tableau montre que lorsque le niveau de bruit préexistant augmente de 45 dB(A) à 75 dB(A), la valeur maximale acceptable du niveau de bruit lié au système de transport augmente de 51 dB(A) à 65 dB(A) pour les catégories 1 (en $L_{Aeq(1\text{ hr})}$) et 2 (en L_{DN}), et de 56 dB(A) 70 dB(A) pour la catégorie 3 (en $L_{Aeq(1\text{ hr})}$). La valeur maximale acceptable de l'augmentation de bruit (cumulé), quant à elle, décroît de 9 dB(A) à 0 (valeur arrondie au dB le plus proche) pour les catégories 1 et 2, et de 13 dB(A) à 1 dB(A) pour la catégorie 3.

Tableau 29 : Détails des seuils de niveaux de bruit maximums admissibles pour le tramway seul selon le guide FTA

Niveau de bruit L_{DN} ou $L_{eq}(1\text{ hr})$ en dB(A) – arrondi au dB le plus proche						
Niveau de bruit préexistant	Valeur maximale admissible de bruit du projet seul		Valeur maximale admissible de bruit cumulé		Valeur maximale admissible d'augmentation du bruit	
	Cat. 1&2	Cat. 3	Cat. 1&2	Cat. 3	Cat. 1&2	Cat. 3
<43	+9	+14				
43	51	56	52	56	9	13
44	51	56	52	56	8	12
45	51	56	52	56	7	11
46	52	57	53	57	7	11
47	52	57	53	57	6	10
48	52	57	53	58	5	10
49	53	58	54	59	5	10
50	53	58	55	59	5	9
51	53	58	55	59	4	8
52	54	59	56	60	4	8
53	54	59	57	60	4	7
54	54	59	57	60	3	6
55	55	60	58	61	3	6
56	55	60	59	61	3	5
57	56	61	60	62	3	5
58	56	61	60	63	2	5
59	57	62	61	64	2	5
60	57	62	62	64	2	4
61	58	63	63	65	2	4

Niveau de bruit L_{DN} ou $L_{eq}(1\text{ hr})$ en dB(A) – arrondi au dB le plus proche						
Niveau de bruit préexistant	Valeur maximale admissible de bruit du projet seul		Valeur maximale admissible de bruit cumulé		Valeur maximale admissible d'augmentation du bruit	
	Cat. 1&2	Cat. 3	Cat. 1&2	Cat. 3	Cat. 1&2	Cat. 3
62	58	63	63	66	1	4
63	59	64	64	67	1	4
64	60	65	65	68	1	4
65	60	65	66	68	1	3
66	61	66	67	69	1	3
67	62	67	68	70	1	3
68	63	67	69	71	1	3
69	64	68	70	72	1	3
70	65	69	71	73	1	3
71	65	70	72	74	1	3
72	65	70	73	74	1	2
73	65	70	74	75	1	2
74	65	70	75	75	1	1
75	65	70	75	76	0	1
76	65	70	76	77	0	1
77	65	70	77	78	0	1
>77	65	70				



ANNEXE B

Comparaison des seuils d'émergence maximale admissible selon le guide FTA et la Politique sur le bruit routier

La figure ci-dessous présente les seuils fixés par le guide FTA et les seuils fixés par la Politique sur le Bruit routier du Québec, en termes d'émergence maximale admissible. Il est important de noter que les indicateurs utilisés dans chaque catégorie du FTA et dans la Politique sur le Bruit routier ne sont pas les mêmes.

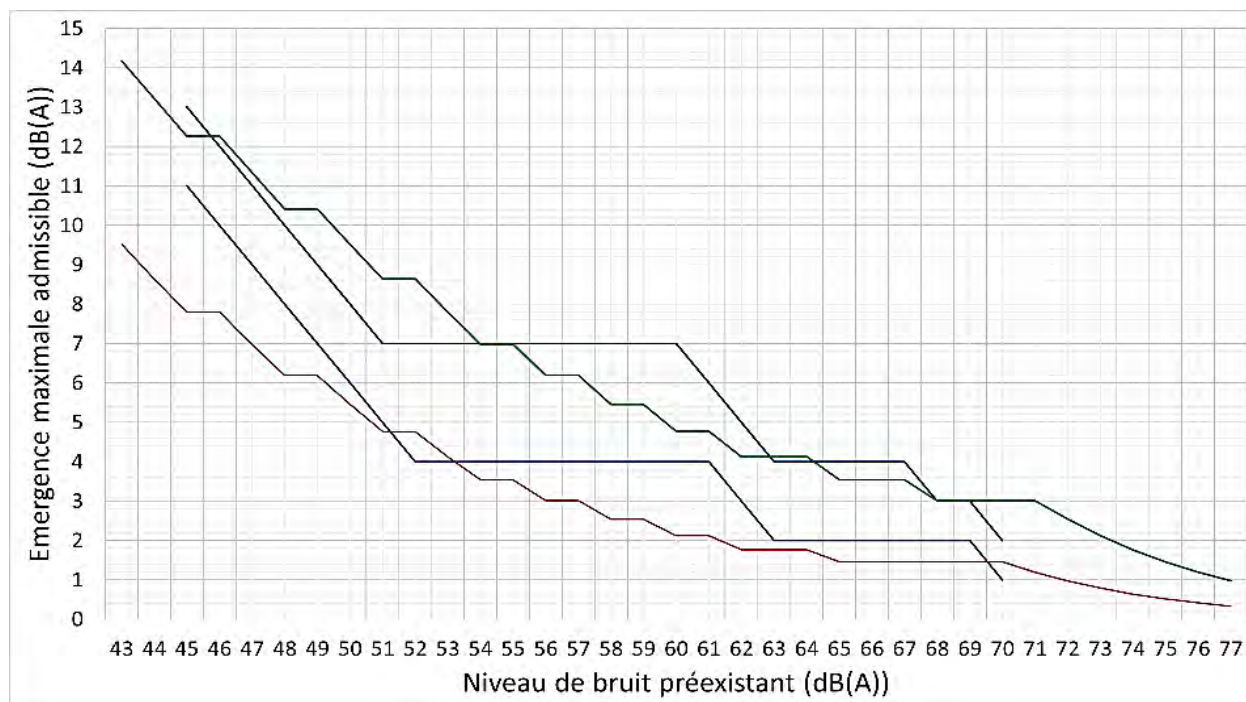


Figure 192 : Comparaison des seuils du guide FTA et de la Politique sur le bruit routier du Québec

Comparaison et analyse :

○ Pour les logements :

Les seuils du FTA sont exprimés selon l'indicateur L_{DN} et ceux de la Politique sur le bruit routier au Québec sont exprimés selon l'indicateur $L_{Aeq,24\text{ hr}}$.

La prise en compte de la sensibilité au bruit la nuit dans la définition du L_{DN} implique que $L_{DN} > L_{Aeq,24\text{ hr}}$:

$$L_{DN} = 10 \log_{10} \left(\frac{15 * 10^{\frac{L_D}{10}} + 9 * 10^{\frac{L_N + 10}{10}}}{24} \right) > L_{Aeq,24h} = 10 \log_{10} \left(\frac{15 * 10^{\frac{L_D}{10}} + 9 * 10^{\frac{L_N}{10}}}{24} \right)$$

Par conséquent, pour une même valeur seuil en L_{DN} et en $L_{Aeq,24\text{ hr}}$, le seuil en L_{DN} sera plus difficile à atteindre que celui en $L_{Aeq,24\text{ hr}}$. Or la figure précédente montre que l'émergence maximale en L_{DN} selon le guide FTA est du même ordre, voire inférieure à l'émergence maximale (« impact faible ») selon la Politique sur le bruit routier, et donc plus contraignant. Si le projet respecte les seuils du guide FTA, il respectera aussi les seuils de la Politique sur le bruit routier.

○ **Pour les bâtiments sensibles :**

Les seuils du FTA sont exprimés selon l'indicateur $L_{Aeq,1\text{ hr}^*}$ (*sur l'heure où le niveau de bruit lié aux infrastructures de transport est le plus élevé au cours d'une période de sensibilité au bruit) et ceux de la Politique du bruit routier au Québec sont exprimés selon l'indicateur $L_{Aeq,24\text{ hr}}$.

L'indicateur $L_{Aeq,24\text{ hr}}$ correspond à la moyenne énergétique du niveau de bruit sur une journée. Son calcul prend en compte les niveaux de bruit en périodes diurne (bruit élevé) et nocturne (bruit moins élevé). L'indicateur $L_{Aeq,1\text{ hr}^*}$ correspond à la moyenne énergétique du niveau de bruit sur une heure bruyante et ne prend donc pas en compte les niveaux plus calmes de la nuit. Il est alors raisonnable d'estimer que $L_{Aeq,1\text{ hr}^*} > L_{Aeq,24\text{ hr}}$. Par conséquent, comme pour les logements, la figure précédente montre que les seuils selon le FTA sont plus contraignants.

○ **Pour les bâtiments institutionnels :**

Les seuils du FTA sont exprimés selon l'indicateur $L_{Aeq,1\text{ hr}^*}$ (*sur l'heure où le niveau de bruit lié aux infrastructures de transport est le plus élevé au cours d'une période de sensibilité au bruit) et ceux de la Politique du bruit routier au Québec sont exprimés selon l'indicateur $L_{Aeq,24\text{ hr}}$. Comme expliqué au paragraphe précédent, il est raisonnable d'estimer que $L_{Aeq,1\text{ hr}^*} > L_{Aeq,24\text{ hr}}$.

La figure précédente montre que les seuils du FTA sont plus contraignants que les seuils d'impact fort de la Politique sur le bruit routier pour les niveaux de bruit préexistants supérieurs à 55 dB(A), qui sont généralement ceux mesurés dans des villes densément peuplées. Pour les niveaux de bruit préexistants compris entre 46 et 54 dB(A), la différence entre les seuils est de 2 dB(A) maximum.



ANNEXE C

Définition des termes correctifs K_i , K_T et K_s utilisés dans le règlement LRQ

Comme présenté au paragraphe 4.2.2, le règlement LRQ fixe des seuils en utilisant un indicateur dont la définition utilise des termes de correction. Ceux-ci sont présentés dans la présente annexe.

K_i : terme correctif pour les bruits d'impact (ou impulsionnels)

L'utilisation d'un terme de correction K_i peut être nécessaire dans le cas de l'étude des gaines ou puits de décompression.

Le paramètre de correction K_i pour les bruits d'impact peut être déterminé par deux méthodes.

Méthode 1 :

Si l'appareil de mesure permet de mesurer l'indice L_{AFTm5} , conformément aux normes allemandes TA Lärm et VDI 2058, l'équation de correction est la suivante :

$$K_i = L_{AFTm5} - L_{Aeq,T}$$

Cette correction n'est applicable que s'il y a des bruits d'impact (bruit de courte durée dont on perçoit une augmentation brusque du niveau) et que la différence est plus grande que 2 dB.

Méthode 2 :

Si l'indice L_{AFTm5} n'est pas offert avec un appareil de mesure, la correction K_i peut être évaluée avec l'équation suivante :

$$K_i = 10 \log \left(\left(10^{\frac{L_i}{10}} * \frac{5m}{T} \right) + \left(10^{\frac{L_{Aeq,T}}{10}} * \frac{T - 5m}{T} \right) \right) - L_{Aeq,T}$$

où :

- « T » est la période de référence, en secondes;
- « L_i » est le calcul de la moyenne logarithmique des niveaux maximums (L_{AFmax}) sur la réponse rapide « fast » imputables aux bruits d'impact qui se produisent durant la période de référence et qui sont perçus au point d'évaluation.

$$L_i = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{m} \sum_{n=1}^m 10^{\frac{dBn}{10}} \right)$$

où :

- « dBn » est le niveau maximum (L_{AFmax}) sur la réponse rapide « fast » correspondant au n-ième bruit d'impact durant la période de référence;
- « m » est le nombre d'impacts admissibles pendant la période de référence. Le nombre d'impacts admissible est égal au nombre d'impacts réels si en aucun moment la cadence des impacts n'est plus grande que 1 impact par 5 secondes. Cependant, lorsque pour une partie ou la totalité de la période de référence, la cadence des impacts est plus grande que 1 impact par 5 secondes, le nombre d'impacts

admissibles ne peut dépasser 1 impact par 5 secondes pour la partie ou la totalité de la période de référence.

Aucune correction n'est ajoutée lorsque K_i est égal ou inférieur à 2 dB.

K_T : terme correctif pour le bruit à caractère tonal

Le terme correctif K_T de 5 dB est applicable lorsqu'un bruit à caractère tonal est clairement audible et que la bande de tiers d'octave qui le comprend dépasse les bandes adjacentes d'une valeur égale ou supérieure à celles inscrites au **Tableau 4**. Si plus d'une composante tonale répond à ces critères, un seul terme correctif demeure applicable.

Il peut être nécessaire d'utiliser ce terme lors de l'étude des équipements techniques sur les portions souterraines du tracé. En effet, les ventilateurs de ces équipements ont parfois un spectre d'émission sonore à caractère tonal.

Les bandes de tiers d'octave mesurées et analysées vont de 16 à 20 000 Hz.

Tableau 30 : Seuils à partir desquels un bruit est à caractère tonal d'après LRQ

Fréquence émergente en Hz	141 Hz et moins	141 à 440 Hz	440 Hz et plus
Bande passante de tiers d'octave	125 Hz et moins	160 à 400 Hz	500 Hz et plus
Dépassement des bandes adjacentes	15 dB et plus	8 dB et plus	5 dB et plus

Si une fréquence émergente (en Hz) du bruit à caractère tonal s'approche de la limite de deux bandes de tiers d'octave adjacentes, les critères du tableau précédent deviennent techniquement nuls. Aussi, avant de conclure qu'un terme correctif n'est pas applicable, il conviendra lors de l'analyse d'un bruit à caractère tonal d'identifier la valeur de la fréquence émergente. Si cette fréquence s'approche de la limite de deux bandes de tiers d'octave, l'analyse en bandes plus fines (1/12 d'octave, 1/24 d'octave, FFT avec la fenêtre de Hanning) peut alors s'avérer utile, voire nécessaire⁸, pour évaluer la pertinence d'appliquer un terme correctif. L'analyse en bandes fines peut aussi s'avérer utile pour une meilleure compréhension de certaines problématiques singulières.

Aucune correction n'est appliquée si le niveau sonore pondéré A de la bande de tiers d'octave qui contient une fréquence proéminente est inférieur de 15 dB ou plus au niveau sonore en dB(A) de tout le spectre.

K_S : terme correctif pour certaines situations spéciales, tels les bruits perturbateurs ou les bruits de basse fréquence

L'utilisation d'un terme correctif K_S peut être nécessaires dans certaines situations spéciales, notamment :

- 5 dB(A) pour tout bruit de basse fréquence, c'est à dire un bruit dont les caractéristiques fréquentielles font que le $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T} \geq 20$ dB; toutefois cette correction est applicable exceptionnellement si la mesure est accompagnée d'une démonstration que le bruit de basse fréquence est la cause de nuisance accrue à l'intérieur de bâtiment à vocation résidentielle ou l'équivalent;



- 5 dB(A) pour tout bruit perturbateur comportant des éléments verbaux, musicaux ou porteurs d'information (signaux sonores).

Note : Lorsque les éléments verbaux, musicaux ou porteurs d'information constituent l'essentiel du bruit perturbateur, l'application de la pénalité ne pose pas de problème. Si tel n'est pas le cas, il faut que ces éléments contribuent significativement au bruit de la source pour que la pénalité s'applique. S'il est possible de mesurer isolément la contribution d'éléments verbaux, musicaux ou porteurs d'information en provenance d'une source sonore, cette contribution sonore ne devrait pas être de plus de 2 dB inférieure à la contribution sonore totale de la source pour justifier l'application d'une pénalité.



ANNEXE D

Détails des Débits Moyens Journaliers Annuels actuels
et projetés en 2026 des voiries les plus importantes
(fournis par la Ville de Québec)



Figure 193 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Actuel, Zone Ouest



Figure 194 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Actuel, Zone Sud

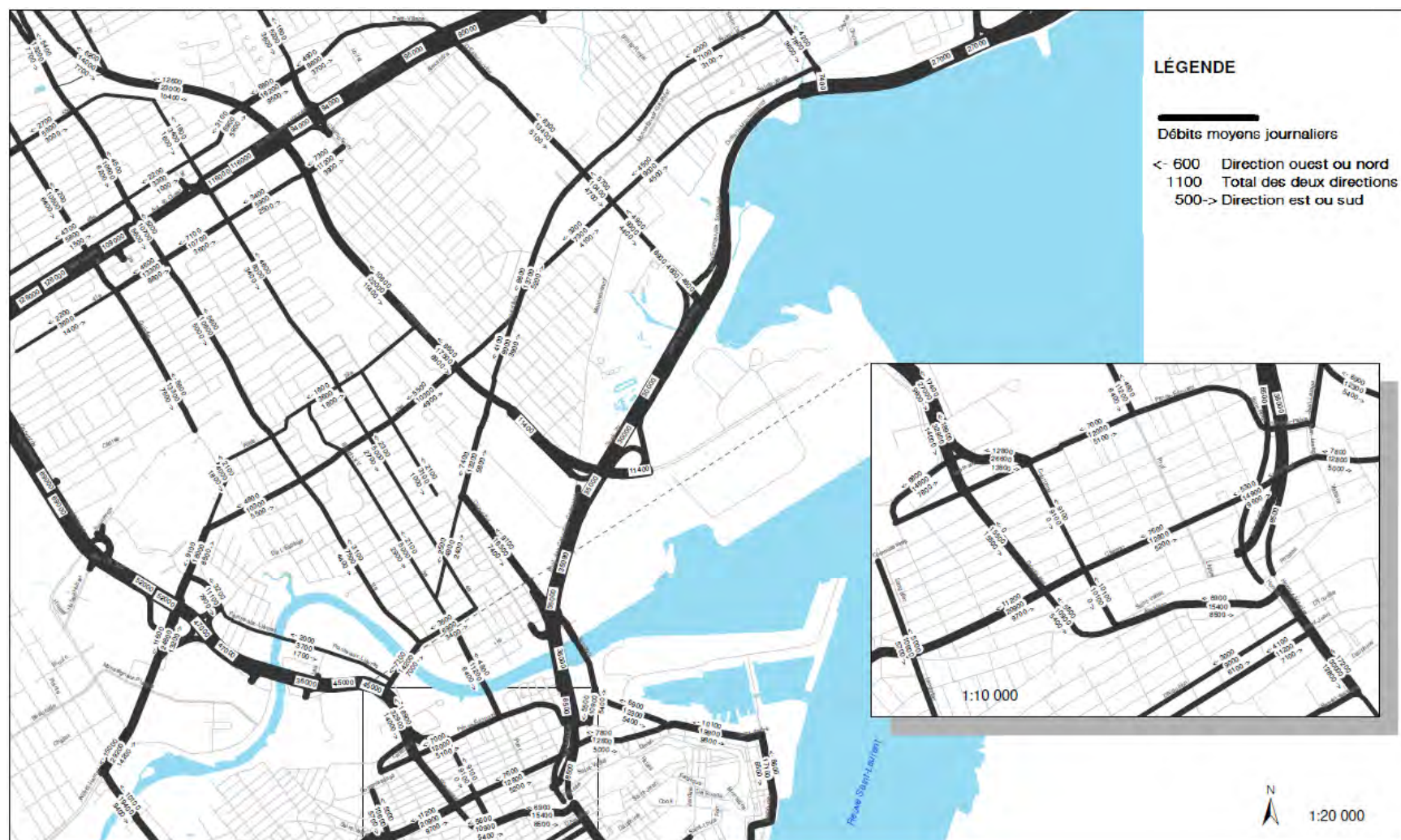


Figure 195 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Actuel, Zone Est



Figure 196 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Actuel, Zone Nord



Figure 197 - Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Projeté 2026, Zone Ouest



Figure 198 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Projeté 2026, Zone Sud



Figure 199 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Projeté 2026, Zone Est



Figure 200 : Débits Moyens Journaliers Annuels des voiries les plus importantes, État Projeté 2026, Zone Nord