

Titre: Méthodologie d'évaluation des principaux impacts sur la population de l'augmentation du trafic ferroviaire lors de l'implantation d'un pôle logistique majeur
Title:

Auteur: Julien Sylvestre
Author:

Date: 2017

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Sylvestre, J. (2017). Méthodologie d'évaluation des principaux impacts sur la population de l'augmentation du trafic ferroviaire lors de l'implantation d'un pôle logistique majeur [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/2537/>
Citation:

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/2537/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Martin Trépanier, & Emma Frejinger
Advisors:

Programme: Maîtrise recherche en génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DES PRINCIPAUX IMPACTS SUR LA POPULATION
DE L'AUGMENTATION DU TRAFIC FERROVIAIRE LORS DE L'IMPLANTATION D'UN
PÔLE LOGISTIQUE MAJEUR

JULIEN SYLVESTRE

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE INDUSTRIEL)

AVRIL 2017

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DES IMPACTS PRINCIPAUX SUR LA POPULATION
DE L'AUGMENTATION DU TRAFIC FERROVIAIRE LORS DE L'IMPLANTATION D'UN
PÔLE LOGISTIQUE MAJEUR

présenté par : SYLVESTRE Julien

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Mme RIOPEL Diane, Doctorat, présidente

M. TRÉPANIÉ Martin, Ph. D., membre et directeur de recherche

Mme FREJINGER Emma, Doctorat, membre et codirectrice de recherche

M. MARGNI Manuele, Doctorat, membre

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mon directeur Martin Trépanier pour son soutien technique et financier tout au long de ma maîtrise. Il a été pour moi une inspiration non seulement dans la rédaction de ce mémoire, mais également dans les décisions face à ma future carrière. Son calme et sa capacité à vulgariser ses connaissances dans la logistique du transport et les systèmes d'information géographique m'ont aidé tout au long de ma rédaction. Merci également au soutien de ma codirectrice Emma Frejinger et à ses propositions de projets intéressants qui m'ont permis de rester motivé. Son professionnalisme m'a permis de bien comprendre les différentes facettes de la logistique en obtenant des réponses rapides et pertinentes.

Merci également aux différents partenaires qui ont partagé des informations uniques permettant d'obtenir une opinion directe du milieu. Les rencontres furent pertinentes et m'ont permis de voir le côté concret du projet. Merci d'avoir partagé vos données qui sont au cœur de la méthodologie présentée. C'est grâce à ce genre de collaboration qu'il est possible d'évoluer dans le monde de la logistique.

Merci à ma famille et mes amis de m'avoir changé les idées quand j'en avais vraiment besoin et de m'avoir supporté jusqu'à la fin.

RÉSUMÉ

Le transport de marchandises par conteneurs est en plein essor depuis quelques années. Grâce à cette unité de transport, l'intermodalité entre le bateau, le train et le camion est plus efficace et permet d'offrir un service continu, fiable, sécuritaire, rapide et à moindre coût. Cette tendance a pour cause d'augmenter l'affluence de conteneurs dans les terminaux intermodaux qui se situent souvent dans les régions urbaines. Au fil du temps, les terminaux sont soumis à des contraintes de capacité face à la congestion et la densité des populations urbaines. En réponse à ce problème, de nouveaux pôles logistiques sont déployés vers les régions rurales où il y a moins d'encombrement face au développement d'infrastructures et au transport de marchandises. C'est le cas, entre autres, du nouveau terminal du port de Montréal à Contrecoeur qui cherche à répondre à la demande accrue du transport par conteneurs face à des installations qui approche bientôt la pleine capacité.

L'emplacement de ces futurs pôles logistiques concorde souvent avec les réseaux routiers et ferroviaires déjà en place permettant ainsi une interconnexion efficace vers les différentes régions à desservir. L'utilisation faite du transport ferroviaire et routier repose sur des facteurs comme la destination, la nature du produit, le risque et le coût. Effectivement, les économies d'échelles possibles grâce à l'utilisation d'un train de marchandises intermodal à double étages sont non négligeables pour les expéditeurs. Cette relation entre les deux modes de transport devient importante lorsque l'on considère les différentes conséquences de l'augmentation du transport de marchandises sur une région donnée. En fait, la capacité opérationnelle d'un pôle logistique et la proportion utilisée entre les modes de transport toucheront directement la population environnante.

Les impacts de l'augmentation du transport de marchandises sur le réseau ferroviaire auront des conséquences différentes sur la population. Tout d'abord, l'augmentation de passages de trains sur une voie ferrée engendre de la congestion aux passages à niveau selon l'horaire, la vitesse et la longueur du train. Tout dépendant du débit de circulation aux passages à niveau, le temps de blocage peut avoir pour conséquence de créer des files d'attente importante sur réseau. La hausse des niveaux de bruit et vibrations affectera également la population à proximité des voies ferrées pouvant ainsi provoquer des perturbations du sommeil et du dérangement. Par ailleurs, le niveau de sécurité de la population est affecté par le transport de matières dangereuses et l'efficacité des services d'urgence. Effectivement, le blocage des passages à niveau peut créer des problématiques

lors d'opérations des services d'urgence. Les populations aux abords des futurs pôles logistiques s'inquiètent de ces impacts possibles et il est important de considérer ses préoccupations face au succès de projets d'envergure.

L'objectif de ce mémoire est de mieux comprendre ces impacts et de les évaluer afin d'obtenir des résultats pertinents face à l'implantation de nouveaux pôles logistiques majeurs. Il présente une méthodologie d'analyse des impacts sur la population face à l'augmentation d'affluence de trains sur le réseau ferroviaire par l'intégration cartographique de données, la prévision des niveaux d'activités et le calcul d'impacts sur la population concernant la circulation routière, le bruit et les vibrations et la sécurité. Finalement, un outil Excel interactif permet de déterminer le temps de passage des trains au passage à niveau, son impact sur la circulation et le nombre de personnes affectées par un certain niveau de bruit.

Ce mémoire analyse les enjeux importants face à l'acceptabilité sociale des projets de pôles logistiques d'envergure en assurant une intégration positive du projet dans la communauté. Le fait de connaître les impacts probables avant la mise en opération des installations permet ainsi de s'ajuster et diminuer les effets néfastes possibles. La méthodologie permet également de justifier l'implantation de mesures d'atténuation comme l'abolition du sifflement d'un train, la pause de barrières aux passages à niveau ou même la construction d'un viaduc. Il contribue également à la sécurité de la communauté en évaluant le niveau d'efficacité des services d'urgence en identifiant les différentes problématiques liées aux passages des trains.

Bref, les impacts sur la circulation dépendent fortement de la vitesse du train et du débit de circulation au passage à niveau. Par exemple, à une intersection achalandée, le délai d'attente moyen par véhicule peut atteindre 5 minutes et impacter jusqu'à 150 véhicules si un train circule à 30 km/h. Cependant, si celui-ci circulait à une plus haute vitesse, il engendrerait un plus haut niveau de bruit. Il existe donc une contradiction entre les impacts sur la circulation et les impacts sur le bruit difficilement acceptable par les communautés. En fait, le bruit d'un train de marchandises circulant à 60 km/h provoquerait un niveau de bruit de 43 dB(A) pour une personne à 300 mètres de la voie ferrée. À ce niveau sonore, c'est souvent entre 1% et 2,5% d'une population qui est affectée par le bruit en provenance du train selon la région d'analyse. Par ailleurs, la couverture des services d'incendie est touchée par le passage des trains et la cohésion entre les compagnies ferroviaires et les municipalités est primordiale. Par exemple, dans notre étude de cas, une des

municipalités voit 55 % de sa population isolée du poste d'incendie en cas de blocage majeur de la voie ferrée. Finalement, le transport de conteneurs ne représente pas de risques importants concernant les matières dangereuses et engendre un niveau de vibration plutôt faible à plus de 50 mètres de la voie ferrée.

ABSTRACT

Transportation of goods by containers has been booming in recent years. Thanks to this transport unit, the intermodality between boats, trains and trucks is more efficient and offers a continuous, reliable, safe, fast and inexpensive service. This trend has increased the number of containers in intermodal terminals that are often located in urban areas. Over time, terminals are subject to capacity constraints regarding congestion and density of urban populations. In response to this problem, new logistics clusters are being deployed to rural areas where there is less congestion for infrastructure development and freight transportation. This is the case for the new terminal of Montreal Port Authority in Contrecoeur, which is seeking to meet the increased demand for containers transport against facilities that are near full capacity.

The location of these future logistics clusters often coincides with the existing road and rail networks, thus allowing efficient interconnection to the different regions to be served. The use of rail and road transport is based on factors such as the destination, product nature, risk and cost. Indeed, the economies of scale possible through the use of double-stack rail transportation are not negligible for shippers. This relationship between the two modes of transport becomes important when one considers the different impacts of an increase in freight transport over a given region. In fact, the operational capacity of a logistics hub and the proportion used between modes of transport will directly affect the surrounding population.

The impacts of increasing freight transport on the rail network will have different consequences for the population. First, the increase in train crossings on a railway leads to road congestion according to the timetable, speed and length of the train. Depending on the traffic flow at railroad grade crossings, blocking time can result in significant queues on the network. Higher levels of noise and vibration will also affect the population close to the railways, which can cause disturbances in sleep and annoyance. Also, the population safety is affected by the transport of hazardous materials and the effectiveness of emergency services. Indeed, the blockage of railroad grade crossings can create problems during emergency services' operation. The populations around the future logistics centers are worried about these possible impacts and it's important to consider their concerns for the success of major projects.

This helps understand these impacts and evaluate them in order to obtain relevant results regarding the implementation of major new logistics clusters. It presents a methodology for analyzing population impacts facing an increase in the number of trains on the rail network through cartographic integration of data, prediction of activity levels and calculation of impacts on the population concerning traffic, noise, vibration and safety. Finally, an interactive Excel tool is used to determine the transit time of trains at railroad grade crossings, its impact on traffic and the number of people affected according to a certain level of noise.

This thesis analyzes the important issues regarding social acceptability of large-scale logistics hub projects by ensuring a positive integration into the community. Being aware of the possible impacts before the terminal starts operating, makes it possible to adjust and reduce the possible adverse effects. The methodology also allows justifications on mitigation measures implementation such as the abolition of a train's whistle, the addition of barriers at railroad grade crossings or even the construction of a viaduct. It also contributes to the safety of the community by assessing the level of effectiveness of emergency services by identifying the different problems related to the passage of trains.

In short, traffic impacts are highly dependent on train speed and traffic flow at the railroad grade crossing. For example, at a busy intersection, the average waiting time per vehicle can reach 5 minutes and impact up to 150 vehicles if a train travels at 30 km/h. However, if it was traveling at a higher speed, it would generate a higher level of noise. There is thus a contradiction between the impacts on traffic and the impacts on noise that is hardly accepted by communities. In fact, a freight train traveling at 60 km/h would cause a noise level of 43 dB (A) for a person standing 300 meters from the track. At this level, it is often between 1% and 2.5% of a population that is affected by noise from the train depending on the region of analysis. Moreover, the coverage of fire departments is affected by the passage of trains and the cohesion between railway companies and municipalities is crucial. For example, in our case study, one of the municipalities sees 55% of its population isolated from the fire station in the event of a major railway blockage. Finally, transportation of containers does not pose a significant risk regarding hazardous materials and generates a rather low level of vibration at more than 50 meters from the track.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES.....	XIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XV
LISTE DES ANNEXES.....	XVI
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Contexte	1
1.2 Problématique et objectif	2
1.3 Contenu	3
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	5
2.1 Impacts de l'implantation d'un pôle logistique.....	5
2.2 Choix du mode de transport	5
2.3 Passages à niveau	8
2.4 Niveau de bruit.....	13
2.5 Niveau de vibration	20
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE.....	23
3.1 État actuel.....	25
3.1.1 Intégration cartographique des données disponibles.....	25
3.1.2 Caractérisation générale des environs de la voie ferrée et des axes routiers.....	28
3.1.3 Évaluation des activités industrielles actuelles	29

3.2	Prévisions du pôle logistique.....	30
3.2.1	Répartition de la capacité	30
3.2.2	Transport	31
3.3	Calcul des impacts.....	33
3.3.1	Impacts sur la circulation routière	33
3.3.2	Impacts sur la sécurité	43
3.3.3	Impacts sur le niveau de bruit	45
3.3.4	Impacts sur les vibrations	51
3.4	Outil Excel interactif	51
CHAPITRE 4 EXPÉRIMENTATION ET RÉSULTATS.....		57
4.1	Sources de données	58
4.2	Situation actuelle et future.....	59
4.3	Caractérisation du territoire.....	59
4.4	Impacts des trains sur la circulation routière	66
4.5	Impacts sur la sécurité	73
4.6	Impacts sur le niveau de bruit	79
CHAPITRE 5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		82
5.1	Synthèse	82
5.2	Contraintes	82
5.3	Perspectives	84
BIBLIOGRAPHIE		86
ANNEXES		93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 Méthodologie d'analyse d'implantation d'un viaduc à un passage à niveau (traduction libre de Taylor, J., Crawford, R. (2009), p.4).....	9
Tableau 2-2 Critères sonores recommandés pour les nouveaux aménagements à proximité d'une voie ferrée (ACFC et FCM (2013), p.83).....	19
Tableau 2-3 Critères sonores recommandés pour les nouveaux aménagements à proximité du triage ferroviaire (ACFC et FCM (2013), p.85).....	19
Tableau 3-1 Limites de vitesse des trains de marchandises au Canada (Association des chemins de fer du Canada (2012), p.10)	36
Tableau 3-2 Équations utilisées pour le calcul des files d'attente	41
Tableau 3-3 Pourcentage de personnes dérangées selon le niveau de bruit par mode de transport (Yano et al., 2007).....	50
Tableau 3-4 Tableau des intrants de l'outil Excel interactif pour les résultats au passage à niveau	52
Tableau 3-5 Pourcentage du DJMA selon l'heure et le jour de la semaine	53
Tableau 3-6 Tableau des intrants de l'outil Excel interactif pour les résultats de niveau de bruit .	53
Tableau 3-7 Facteur correctif selon la distance (Office des Transports du Canada, 2011)	54
Tableau 3-8 Pourcentage de personnes gênées par un certain niveau de bruit durant le jour ou la nuit.....	55
Tableau 3-9 Nombre de bâtiments selon la municipalité et la distance de la voie ferrée	56
Tableau 3-10 Tableau de calcul du nombre de personnes affectées par un certain niveau de bruit	56
Tableau 4-1 Comparaison des différentes situations dans l'avancement d'un projet de pôle logistique	59
Tableau 4-2 Sommaire du territoire analysé	60
Tableau 4-3 Points d'intérêts de la municipalité B	64

Tableau 4-4 Sommaire des points d'intérêts à moins de 150 mètres pour la municipalité C	65
Tableau 4-5 Limites de vitesse des trains sur la voie ferrée étudiée	66
Tableau 4-6 Résultats au passage à niveau d'une route principale dans la municipalité C	67
Tableau 4-7 Résultats au passage à niveau d'une route secondaire dans la municipalité C	69
Tableau 4-8 Résultats au passage à niveau selon différentes vitesses (train de 4 200 mètres)	70
Tableau 4-9 Résultats au passage à niveau selon différentes vitesses (train de 2 000 mètres)	70
Tableau 4-10 DJMA utilisé pour les calculs	71
Tableau 4-11 Statistiques aux passages à niveau (PAN) aux heures de pointe	71
Tableau 4-12 Statistiques aux passages à niveau (PAN) aux heures normales	71
Tableau 4-13 Statistiques aux passages à niveau (PAN) durant la nuit	72
Tableau 4-14 Sommaire des zones à risque	75
Tableau 4-15 Sorties des camions des pompiers selon quatre plages horaires pour la municipalité C	78
Tableau 4-16 Résultats d'un train provoquant 50 dB à 70 mètres de la voie ferrée dans la municipalité C	80
Tableau 4-17 Grille pondérée des résultats de l'analyse des impacts potentiels	81
Tableau C-1 Données de la grille pondérée des résultats.....	98

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 Coûts sociaux du transport routier et ferroviaire (traduction libre de Forkenbrock (1998), p.32).....	6
Figure 2-2 Critère de présélection des passages à niveau sujet au viaduc (traduction libre de Gitelman, Hakkert, Doveh et Cohen (2006), p.58)	11
Figure 2-3 Espace-temps à un arrêt (traduction libre de Kang, Y-S. (2000), p.69)	12
Figure 2-4 Impacts d'un passage à niveau (traduction libre de Gruyter et Currie (2016), p.12) ..	13
Figure 2-5 Effets du bruit selon la sévérité et le nombre de personnes affectées (traduction libre de l'International Union of Railways (2016), p.11)	14
Figure 2-6 Représentation schématique du modèle de calcul TWINS (traduction libre de Thompson & Jones (1999), p.521)	15
Figure 2-7 Mesures d'atténuation standards pour les aménagements à proximité d'une ligne ferroviaire principale (ACFC et FCM (2013), p.19)	16
Figure 2-8 Niveau de bruit dérangeant sur 24h (traduction libre de Lercher, P., De Greve, B., Botteldooren, D., Rüdissier, J. (2008), p.5).....	18
Figure 2-9 Niveau de bruit dérangeant durant la nuit (traduction libre de Lercher, P., De Greve, B., Botteldooren, D., Rüdissier, J. (2008), p.5).....	18
Figure 2-10 Courbe d'exposition aux vibrations (traduction libre de Waddington, Woodcock, Smith, Janssen & Waye (2015), p.238).....	21
Figure 2-11 Variation du rythme cardiaque en réponse au bruit et aux différents niveaux de vibration (traduction libre de Smith, Croy, Ögren & Persson Waye (2013), p.7)	22
Figure 3-1 Schéma de présentation de la méthodologie	24
Figure 3-2 Représentation géographique du réseau de transport près du terminal Maisonneuve ..	27
Figure 3-3 Densité de population dans la région du port de Montréal.....	28
Figure 3-4 Exemple de temps d'un cycle d'un passage à niveau	37
Figure 3-5 Comparaison des débits de circulation à deux points de comptage du MTQ	38

Figure 3-6 Comparaison des heures de pointe durant la fin de semaine	38
Figure 3-7 Distribution mensuelle du débit de véhicules.....	39
Figure 3-8 Conséquences de la configuration des voies sur les files d'attente	43
Figure 3-9 Calcul du nombre de personnes affectées par le bruit.....	49
Figure 4-1 Population habitant à 250, 500, 750 et 1000 mètres de la voie ferrée.....	60
Figure 4-2 Proportion de population habitant aux abords de la voie ferrée	61
Figure 4-3 Densité de population de la municipalité A	62
Figure 4-4 Situation du corridor ferroviaire de la municipalité B.....	63
Figure 4-5 Représentation de la longueur des files d'attente du passage à niveau 1	68
Figure 4-6 Cartographie des 10 passages à niveau critique sur le territoire d'analyse	73
Figure 4-7 Sorties des camions de pompiers de la municipalité C en 2015.....	74
Figure 4-8 Train de 4 200 mètres traversant la municipalité C.....	75
Figure 4-9 Emplacement optimal de la caserne selon les distances centrales minimales	76
Figure 4-10 Sorties des camions de pompiers de la municipalité B en 2015.....	77
Figure 4-11 Carte des sorties des pompiers selon quatre plages horaires (municipalité C).....	78
Figure 4-12 Niveaux sonores perçus lors du passage d'un train (60 km/h), selon la distance	79
Figure 4-13 Pourcentage de la population potentiellement affectée selon le niveau de bruit	80
Figure A-1 Densité de population de la municipalité B.....	93
Figure A-2 Densité de population de la municipalité C.....	93
Figure A-3 Densité de population de la municipalité D.....	94
Figure B-1 Situation du corridor ferroviaire de la municipalité A.....	95
Figure B-2 Situation du corridor ferroviaire de la municipalité C	96
Figure B-3 Situation du corridor ferroviaire de la municipalité D.....	97

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

%HA	Pourcentage de personnes fortement gênées
CN	Canadien National
CP	Canadien Pacifique
CO ₂	Dioxyde de carbone
dB(A)	Décibel pondéré
DJMA	Débit journalier moyen annuel
EVP	Équivalent vingt pieds
FCSB	Feux clignotants, sonnerie et barrières
FCS	Feux clignotants et sonnerie
GES	Gaz à effet de serre
L _{eq}	Niveau acoustique équivalent
Mt	Million de tonnes
RMS	Amplitude quadratique moyenne

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – CARTOGRAPHIE DE LA DENSITÉ DE POPULATION	93
ANNEXE B – CARTOGRAPHIE DE LA SITUATION DU CORRIDOR FERROVIAIRE	95
ANNEXE C – DONNÉES DE LA GRILLE PONDÉRÉE DES RÉSULTATS	98

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

En réponse aux besoins grandissants des marchés émergents et à la libéralisation des échanges commerciaux, la conteneurisation est en croissance partout dans le monde (Padova, A., 2005). C'est pourquoi les ports suivent la tendance et investissent dans des projets d'expansion à grande échelle pour rester compétitifs. Notamment, l'implantation d'un pôle logistique impose des investissements majeurs, mais augmente la capacité de manutention. En fait, un pôle logistique est un regroupement d'entreprises et de centres de distribution cherchant à optimiser leurs activités logistiques. Par conséquent, ces parcs industriels multimodaux sont caractérisés par une concentration d'activités du transport dans une région restreinte en permettant l'acheminement de la marchandise grâce à plusieurs modes de transport différents. Quant à l'intermodalité, elle permet d'utiliser la portée mondiale des navires, la vitesse des trains et la flexibilité des camions dans la même unité de chargement, notamment le conteneur. Bref, en utilisant un conteneur, on a accès à trois modes de transport différents de façon plus rapide. Cependant, l'utilisation de plusieurs modes de transport vient affecter les populations environnantes des pôles logistiques ; ceux-ci doivent être évalués sur le plan social.

Tout d'abord, ces expansions causeront une augmentation du flux de marchandises sur le réseau de transport de la région. Les axes routiers et la voie ferrée seront touchés en matière d'achalandage des routes, de couverture des véhicules d'urgence, de durée d'attente aux passages à niveau, de bruits, de vibrations. La congestion, les pavés abîmés, les accidents de la route, les complications dues aux matières dangereuses et les entraves aux véhicules d'urgence sont des conséquences possibles du projet et elles doivent être analysées. Il faut cependant tenter de relativiser ces impacts par rapport à ceux du trafic actuel. L'augmentation du flux de marchandises sur le réseau routier et ferroviaire se doit d'être planifié si on veut l'intégrer efficacement au réseau actuel. Il est alors important de bien comprendre les impacts possibles sur le transport et s'ajuster en conséquence.

1.2 Problématique et objectif

Il est difficile de prédire les répercussions de l'augmentation du flux de marchandises sur le réseau de transport d'une région. Les axes routiers et la voie ferrée seront effectivement touchés face au transport de marchandises causant ainsi des conséquences à analyser face à la création de nouveaux pôles logistiques. Il devient donc primordial de se pencher sur ces impacts si l'on veut éviter non seulement les coûts supplémentaires d'adaptation, mais proposer des stratégies pour diminuer les inquiétudes des populations et évaluer les scénarios problématiques qui nuiraient au bon fonctionnement des activités logistiques. Il y a des points positifs et négatifs d'un pôle logistique et le point de vue de la population est souvent négligé. Cependant, celui-ci reste tout de même très important et ce mémoire fait une contribution à ce sujet. En fait, l'acceptabilité sociale est un aspect clé dans le processus d'un projet d'envergure et considère l'approbation de la majorité des citoyens, qu'ils soient touchés directement ou indirectement par les retombées du projet. On cherche donc collectivement à maintenir la qualité de vie d'un milieu en éliminant les risques à court et long terme qui accompagnent le projet logistique.

Le but de ce mémoire est de présenter une méthodologie d'analyse des impacts ferroviaires potentiels par rapport à l'augmentation du flux de marchandises lors d'une implantation de pôle logistique majeur. Nous identifierons ainsi les impacts de l'augmentation du trafic de marchandises générée par un pôle logistique à l'aide du montage du système d'informations géographiques de la région, à l'intégration de données et à l'analyse d'impacts probables sur le réseau de transport. La méthodologie permettra d'évaluer les impacts de l'augmentation des passages de trains notamment l'attente aux passages à niveau, l'efficacité des services d'urgence, le transport de matières dangereuses, le bruit et les vibrations. Nous nous limiterons aux facteurs physiques et ne traiterons pas directement de l'acceptabilité sociale, qui échappe à notre expertise. En outre, ce rapport peut servir de guide aux municipalités dans les choix stratégiques et investissements liés au transport ferroviaire. La réfection des rails, la construction de viaducs et la pose de barrières aux passages à niveau sont tous des éléments à considérer lors de l'implantation d'un nouveau pôle logistique afin de minimiser les conséquences sur la population. Enfin, aux vues de l'immense potentiel de développement économique de ce genre de projets, ce mémoire vise à faciliter son intégration dans la communauté en ayant le minimum d'impact.

Grâce aux données disponibles concernant le système d'information géographique (fond de carte, réseau de voirie, emprise ferroviaire, etc.), le recensement de la population et l'utilisation actuelle de la voie ferrée et des axes routiers, il est possible d'avoir une vue globale du territoire à analyser. Par la suite, les prévisions en matière de volumes, de marchandises et d'infrastructures dans un contexte de pôle logistique mature permettent d'évaluer l'ampleur du projet et la quantité de conteneurs transportés. La liaison entre les données actuelles et futures permettra ainsi d'évaluer les impacts générés par le pôle logistique et mieux comprendre les conséquences sur la population.

1.3 Contenu

En premier lieu, une revue de littérature permet de connaître les progrès récents concernant les choix de modes de transport, l'analyse des passages à niveau, le niveau de bruit et vibrations des trains ainsi que les lois et règlements qui s'y rattachent.

Suivra la présentation d'une méthodologie permettant d'évaluer les impacts d'un pôle logistique sur la population. Cette section représente les lignes directrices de mesure des impacts ferroviaires concernant la circulation routière, la sécurité de la population et le niveau de bruit et vibrations des trains. Cette méthodologie sera appliquée sur un cas réel lié à l'implantation d'un futur pôle logistique.

La méthodologie porte tout d'abord sur l'intégration cartographique de données et la caractérisation de la population à l'aide d'un système d'intégration géographique. L'analyse démographique de la région permet de bien connaître la communauté touchée par l'implantation du nouveau pôle et ainsi obtenir un portrait général des alentours de la voie ferrée, des axes routiers principaux et du pôle logistique.

Elle touche ensuite les prédictions du futur pôle logistique quant au plan des infrastructures, au volume de marchandises et au transport ferroviaire utilisé. Cette portion se penche sur les facteurs pertinents à connaître dans l'évaluation du transport ferroviaire d'un pôle logistique. La collecte de données et les prédictions sont au cœur de cette section qui a un impact direct sur le calcul des conséquences futures. Elle est en fait le point de départ de l'analyse des impacts sur la circulation routière, la sécurité de la population et le niveau de bruit et vibrations causé par les trains.

Une fois les données obtenues et intégrées, l'évaluation des impacts est maintenant possible. Ainsi, une méthodologie est proposée afin d'analyser les impacts concernant le transport ferroviaire. Par conséquent, l'évaluation des impacts sur la circulation routière face aux blocages aux passages à niveau y est discutée. En fait, on s'attarde aux conséquences des files d'attente sur la circulation routière lors du passage d'un train. Également, l'analyse touche la sécurité de la population concernant les services d'urgence et le transport de matières dangereuses. Finalement, le niveau de bruit et les vibrations y sont discutés en termes de conséquences sur la population à proximité de la voie ferrée et des activités du pôle logistique. Cette section permet de mieux comprendre l'ampleur des répercussions de l'ajout de trains de marchandises sur la voie ferrée afin d'établir les solutions prioritaires d'atténuation des conséquences.

Finalement, une expérimentation et ses résultats sont présentés. Tout d'abord, la méthodologie est appliquée dans l'analyse des impacts ferroviaires d'un nouveau pôle logistique. En fait, les impacts sur la population de l'augmentation du trafic de marchandises généré par l'ajout de passages de trains sont identifiés et représentés à l'aide de schémas, graphiques et tableaux.

En conclusion, les contributions et limites de la méthodologie sont discutées. De nouvelles voies de recherche sont également exposées.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Plusieurs recherches dans les domaines étudiés ont été réalisées, mais ont rarement été combinées afin d’obtenir une méthodologie concise d’évaluation des impacts ferroviaires face à l’implantation d’un pôle logistique. Cette revue de littérature permet d’identifier les développements dans les aspects sociaux touchés par les pôles logistiques. Chaque thème comprend des éléments pertinents à l’approche méthodologique proposée. Il est en fait question des impacts sociaux face à l’implantation d’un pôle logistique à travers le choix de modes de transport, les temps d’attente aux passages à niveau, le niveau de bruit et vibrations du passage d’un train.

2.1 Impacts de l’implantation d’un pôle logistique

Tout d’abord, la littérature touche souvent aux conséquences environnementales et économiques des pôles logistiques, mais très peu se penche sur les aspects sociaux. Effectivement, les lignes directrices pour la préparation d’une étude d’impact environnemental sont proposées dans le cas de plusieurs projets d’envergure (Agence canadienne d’évaluation environnementale, 2012) et on s’attarde aux conséquences sur l’environnement physique de l’intermodal (Rondinelli et Berry, 2000) et du transport de marchandises en général (OCDE, 1997).

Cependant, en observant les préoccupations des citoyens, il est possible d’obtenir une bonne idée des impacts sociaux qu’engendre un pôle logistique. Il est observable que la population s’inquiète entre autre de l’augmentation du flux de camions de marchandises (trafic sur les routes principales, émissions de GES, usure des routes), les activités du terminal (pollution visuelle, sonore et lumineuse) et l’augmentation des passages de trains (trafic aux passages à niveau, bruits et vibrations, sécurité) (Administration portuaire de Montréal, 2015).

2.2 Choix du mode de transport

On se penche alors sur l’impact des coûts, de l’environnement et des risques dans le choix d’un mode de transport pour les entreprises à proximité d’un terminal ferroviaire (Heljedal, 2013). Les résultats montrent définitivement que l’impact environnemental du transport routier est plus important que celui du transport ferroviaire. Cependant, la flexibilité et la fiabilité du transport

routier pèsent dans la balance économique et il devient souvent plus rentable pour les entreprises d'utiliser les camions. Effectivement, en général, un wagon transporterait l'équivalent d'environ 2-4 camions (Burton, 2011). Il devient donc plus intéressant d'utiliser le transport ferroviaire pour les longues distances, mais les camions de marchandises seront souvent plus utilisés pour les courtes distances.

Forkenbrock (1998) présente une méthode de comparaison des coûts externes entre l'utilisation des trains et des camions. Effectivement, les entreprises évaluent souvent les coûts économiques face aux choix du mode de transport, mais le coût social est rarement pris en compte puisqu'ils ne les impactent pas directement. Des facteurs comme les accidents, le bruit et l'usure des routes sont souvent laissés de côté par les analyses des entreprises, mais ceux-ci représentent des éléments importants du transport. Lors de la prise de décision, l'inclusion des coûts externes est importante, car ils influencent le bien-être de notre société.

Le tableau suivant montre la comparaison de ces coûts entre le transport routier et ferroviaire. On remarque que le transport routier est nettement plus néfaste que le transport ferroviaire sur plusieurs points .

	Accidents	Pollution de l'air	Gaz à effet de serre	Bruit	Total
Camion de marchandises	0.59	0.08	0.15	0.04	0.86
Train de marchandises lourdes	0.17	0.01	0.02	0.04	0.24
Train de marchandises mixtes	0.17	0.01	0.02	0.04	0.24
Train intermodal	0.17	0.02	0.02	0.04	0.25
Train à deux étages	0.17	0.01	0.02	0.04	0.24

Figure 2-1 Coûts sociaux du transport routier et ferroviaire (traduction libre de Forkenbrock (1998), p.32)

Il est reconnu dans la littérature que le transport par camion de marchandises cause plus d'accidents et de pollution que le transport par train. Depuis quelques années, les entreprises de transport de

marchandises visent à réduire leur impact sur l'environnement, car une faible empreinte écologique est maintenant devenue un avantage compétitif. Effectivement, plusieurs entreprises ont adopté des technologies et pratiques permettant de réduire l'impact environnemental de leurs activités de transport routier notamment par l'utilisation du gaz naturel liquéfié, l'adoption de train double et l'utilisation de jupes aérodynamiques sur les semi-remorques.

Par conséquent, maintenant qu'il est d'actualité qu'un comportement écologique engendre souvent des signes de rentabilité, les entreprises considèrent non seulement l'aspect économique dans leurs choix stratégiques, mais également l'aspect environnemental. Bref, pour obtenir un projet durable, il reste à considérer l'aspect social qui souvent ne représente pas un avantage concurrentiel pour les entreprises. Ce sont en fait les municipalités, les citoyens à l'aide d'audiences publiques et des organismes comme le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) qui considèrent les impacts sociaux d'un projet.

Le concept d'acceptabilité sociale permet de prendre en compte toutes les parties prenantes lors d'un projet et ainsi trouver l'équilibre entre les craintes des uns et les bénéfices des autres (Bolivar, 2016). Un projet de pôle logistique vient menacer les activités humaines de ce milieu et on doit réussir à y intégrer la notion d'acceptabilité sociale. Pour y arriver, on peut, entre autres, se pencher sur le transport ferroviaire qui représente un des modes fortement utilisés dans l'intermodal.

L'association des chemins de fer du Canada présente chaque année les performances du transport ferroviaire de marchandises. Les chemins de fer font partie intégrante de la chaîne d'approvisionnement et ont permis, en 2014, de transporter un volume record de marchandises. Cette tendance à la hausse se poursuit depuis 2010 et le transport de marchandises par voie ferroviaire permet aux entreprises d'être concurrentielles à l'échelle nationale et mondiale pour le transport de produits essentiels de façon sécuritaire (Association des chemins de fer du Canada, 2015). Au Canada, les chemins de fer marchandises de classe I sont majoritairement exploités par les compagnies ferroviaires Canadien National et Canadien Pacifique. Par contre, malgré leur côté efficace et économique, les trains de marchandises provoquent des conséquences sur la population notamment aux passages à niveau.

2.3 Passages à niveau

Dans le Programme de surveillance de la Sécurité ferroviaire de Transports Canada, on fournit un inventaire des endroits et des caractéristiques de tous les passages à niveau au Canada mis à jour annuellement. Effectivement, depuis l'accident ferroviaire de Lac-Mégantic en 2013, l'évaluation des risques et la vérification de conformité aux exigences réglementaires sont jugées primordiales par Transports Canada (Bureau de la sécurité des transports au Canada, 2015). Le trafic intermodal est en pleine croissance et a augmenté de 19,6 %, en 2014, par rapport à la moyenne des 5 dernières années (Association des chemins de fer du Canada, 2015). Cette situation peut s'expliquer notamment par la construction de nouveaux terminaux et installations portuaires tant au Canada qu'aux États-Unis. En fait, les nouveaux projets de pôles logistiques engendrent des répercussions sur le trafic ferroviaire dans les milieux urbains à proximité. Il est donc important de prendre en compte les répercussions sur le blocage des passages à niveau.

Le passage d'un train à travers un milieu urbain cause des attentes aux passages à niveau et cela inquiète les populations. Par conséquent, des études sont conduites dans le but d'évaluer les impacts aux passages à niveau des trains, par exemple, le cas de la ville de Suffolk (Hampton Roads Planning District Commission, 2007) et de Seattle (Parametrix, 2012). On se questionne en fait sur les répercussions du blocage des passages à niveau (Taylor et Crawford, 2009). Taylor et Crawford présentent une méthode d'analyse pour prioriser les passages à niveau où il serait intéressant de construire un viaduc. La méthode donne un poids d'importance à chacun des facteurs économiques, sociaux, environnementaux et stratégiques, pour permettre une meilleure prise décision. Notons que les temps d'attente sauvés par la construction d'un viaduc ont été classés comme bénéfices économiques. Voici une vue d'ensemble du cadre d'évaluation proposé.

Tableau 2-1 Méthodologie d'analyse d'implantation d'un viaduc à un passage à niveau (traduction libre de Taylor, J., Crawford, R. (2009), p.4)

Aire	Objectif	Poids 1 2 Global	Indicateur utilisé	Type	Gamme de notation normalisée
Économique	Minimiser les coûts d'implémentation du projet Maximiser les avantages économiques du transport	37% 100% 36.7%	Ratio coût-bénéfice	Calcul	0 max 10 min PG
Social	Réduire le risque de décès ou de blessure	31% 9.3%	Historique pondéré de l'incident PTSV	Calcul	0 min 10 max PG
	Réduire la séparation de la communauté	14% 4.1%	Accessibilité par le chemin de fer et/ou la route	Qualitatif	-5 emp.+5 amé.PG
	Améliorer l'agrément visuel	7% 2.1%	Apparence visuelle du site de passage	Qualitatif	-5 emp.+5 amé.PG
	Améliorer l'agrément du bruit	30% 7% 2.1%	Niveau de bruit sur la zone d'occupation adjacente	Qualitatif	-5 emp.+5 amé.PG
	Créer des opportunités de développement appropriées	10% 3.1%	Possibilités de développement d'un passage à niveau	Qualitatif	0 min 5 max DG
Environnementale	Améliorer la connectivité/accessibilité des transports	21% 6.2%	Évaluation de la connectivité/accessibilité des transports	Qualitatif	0 min 5 max DG
	Éviter l'impact sur les sites d'importance sociale	10% 3.1%	Évaluation d'impact local (propriété, patrimoine, etc.)	Qualitatif	-5 emp.0 effet DG
	Réduire la consommation d'énergie	83% 9.7%	Véhicules-heures économisées	Calcul	0 min 10 max PG
Ajustement stratégique	Réduire les émissions de GES	12%	Effets sur la nature, la faune, la flore, les cours d'eau, etc.	Qualitatif	-5 emp. 0 effet DG
	Améliorer l'environnement naturel local	17% 1.9%	Priorités d'utilisation des routes et réseau de performance globale	Qualitatif	0 min 10 max PG

Une autre étude propose également une méthodologie d'évaluation des passages à niveau qui quantifie sept variables (bruit, cohésion de la communauté, sécurité, délais, accessibilité, répartition géographique et connectivité) et traite des questions qui ne sont normalement pas prises en compte dans une analyse des avantages coûts-bénéfices (Schrader et Hoffpauer, 2001). Leur méthodologie présente deux nouveaux aspects intéressants à considérer, la cohésion de la communauté et l'accessibilité.

Cohésion de la communauté : Il est important de considérer une communauté en plusieurs quartiers. En fait, certains quartiers ont une plus grande cohésion que d'autres selon leur niveau d'interdépendance. On considère la voie ferrée comme une cause de la faible cohésion et la construction d'un viaduc permettrait de l'améliorer. La formule suivante donne priorité aux communautés ayant un niveau de cohésion plus faible.

$$\text{Facteur de cohésion de la communauté} = 1 - \frac{\text{Désir d'aller de A à B}}{\text{Désir d'aller de B à A}} \quad (1)$$

Il peut être difficile de quantifier ces valeurs qualitatives, mais il est tout de même important de les considérer.

Accessibilité : Dans les régions urbaines, il existe souvent un chemin alternatif lorsqu'un train passe. Il devient généralement plus rapide de prendre un détour par un viaduc que d'attendre le passage du train. Toutefois, cette situation est différente dans les régions rurales, car le temps de

contourner le train serait beaucoup plus grand que le temps nécessaire d'attente. La formule suivante considère cette différence.

$$\text{Facteur d'accessibilité} = \frac{\text{distance avec détour} - \text{distance sans détour}}{24} \quad (2)$$

Dans ce contexte, notons que 24 est une constante représentant la valeur maximale de la différence.

Ces deux aspects permettent de prendre en compte les caractéristiques uniques d'une région. Par conséquent, il est possible de les comparer entre elles et de faire un choix encore plus éclairé quant à la construction d'un viaduc.

Un des impacts les plus notables est le délai au passage à niveau, car il touche directement beaucoup de citoyens. Certaines études ont développé des outils d'analyse spécifiquement sur les coûts liés au délai des véhicules aux passages à niveau (Gitelman, Hakkert, Doveh et Cohen, 2006). On prend en compte les délais des véhicules et la sécurité des citoyens aux passages à niveau pour argumenter les bienfaits économiques de la construction de viaducs. Plus simplement, la priorité de construction d'un viaduc peut être donnée selon le rapport nombre de trains/nombre de véhicules à un passage à niveau donné.

La sécurité aux passages à niveau est un élément à prendre en considération surtout dans les milieux urbains, car les accidents concernent tous les types d'usagers de la route (autos, camions, piétons, cyclistes, autobus, etc.). Le *United States Department of Transportation* (USDOT) présente un modèle de prévision du nombre d'accidents aux passages à niveau en se basant sur le volume de trafic, les caractéristiques du passage à niveau (nombre de trains durant le jour, limite de vitesse de la route, type de revêtement de la route, etc.) et l'historique des collisions (Ogden, 2007). Cependant, les accidents aux passages à niveau représentent souvent un pourcentage minime dans les analyses de coûts-bénéfice d'un viaduc. Par conséquent, la meilleure solution pour éviter les accidents serait plutôt de sécuriser les passages à niveau en respectant les normes sur les passages à niveau. Effectivement, les accidents aux passages à niveau sont très rares. Au Canada, on a constaté 21 pertes de vie en 2014, une baisse par rapport à 30 en 2013 et à la moyenne quinquennale de 26 (Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2015). En comparant ces données avec les collisions de la route en 2014 au Canada, on remarque une très grande différence avec 1 667 collisions mortelles et 110 500 collision avec blessures (Transport Canada, 2014). Voici tout de

même une figure permettant de classer préliminairement les passages à niveau nécessitant un viaduc.

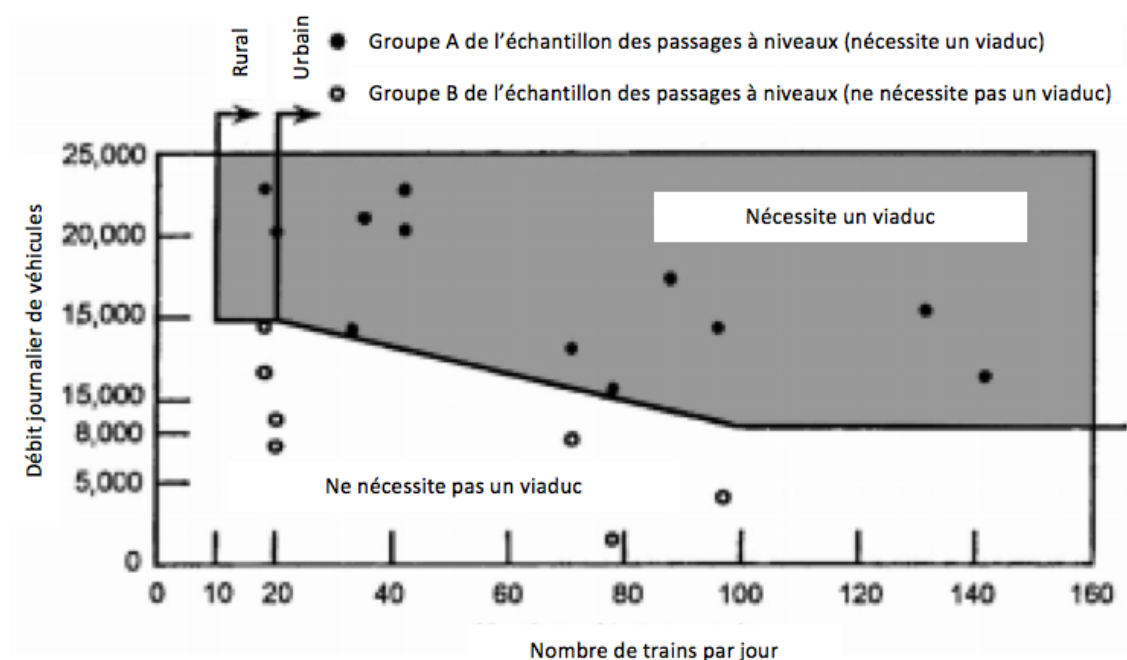


Figure 2-2 Critère de présélection des passages à niveau sujet au viaduc (traduction libre de Gitelman, Hakkert, Doveh et Cohen (2006), p.58)

Par ailleurs, il est important d'évaluer les délais en temps, car c'est l'une des principales préoccupations des citoyens. Grâce à la dynamique de file d'attente et en s'inspirant du modèle de Webster (Okitsu, Louie et Lo, 2010), il est possible de calculer les délais au blocage d'un passage à niveau. Le concept de délai a largement été étudié dans l'optimisation de la signalisation routière. Il représente un élément clé dans le niveau de service fourni aux intersections (Kang, 2000) et la situation est très comparable au blocage de passages à niveau. Les notions de Kang expliquent bien la théorie de file d'attente aux feux de circulation et nous pouvons les appliquer aux passages à niveau. En fait, le blocage d'un passage à niveau est comme une lumière rouge qui persiste pendant plusieurs minutes.

Dans un cas de blocage de passage à niveau, nous supposons un système d'accumulation infini qui est sous-saturé, ce qui signifie que le taux de départ des véhicules est plus élevé que le taux d'arrivée. Ainsi, la file d'attente sera vidée au complet après chaque passage de trains. Le temps

maximal d'attente d'un véhicule reste toujours le temps de blocage du passage à niveau trouvé auparavant, car il s'agit d'un système premier-entré premier-sorti.

En évaluant les différents délais lors du blocage d'un passage à niveau, on identifie trois types : le délai de décélération, le délai d'attente et le délai d'accélération. Le délai de décélération est négligeable, car il débute en même temps que le temps total de blocage du passage à niveau. Par conséquent, ce n'est pas du temps perdu en considérant que le véhicule peut ralentir à la vitesse qu'il veut et cela ne changera rien au délai total. Cependant, le temps d'accélération est à considérer, car il est situé après le temps de blocage du passage à niveau et s'ajoute donc au délai total.

En observant la Figure 2-3, si on ajoute plusieurs véhicules, on remarque que le taux d'arrivée est plus petit que le taux de départ (lignes plus rapprochées lors du départ que de l'arrivée). On voit bien également que même si un véhicule arrive une fois que les barrières se sont levées, celui-ci peut quand même s'immobiliser à cause du temps de dissipation de la file d'attente. Malgré tout, le temps maximum qu'un véhicule peut attendre à un passage à niveau reste tout de même égal au temps de blocage du passage à niveau.

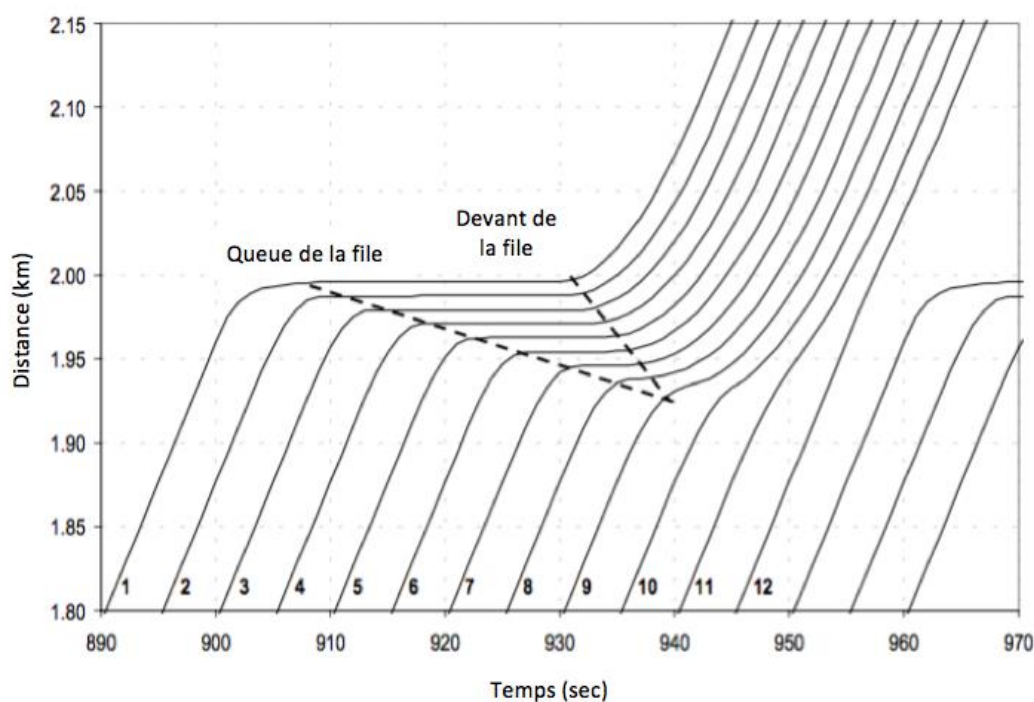


Figure 2-3 Espace-temps à un arrêt (traduction libre de Kang, Y-S. (2000), p.69)

Bref, les délais d'attente sont principalement tributaires de la longueur du train, de sa vitesse et du débit journalier moyen annuel (DJMA) à l'intersection. Voici une figure résumant bien tous les impacts liés à un passage à niveau. Elle représente un bon outil de référence pour visualiser l'étendue des conséquences probables sur les plans économique, environnemental et social.

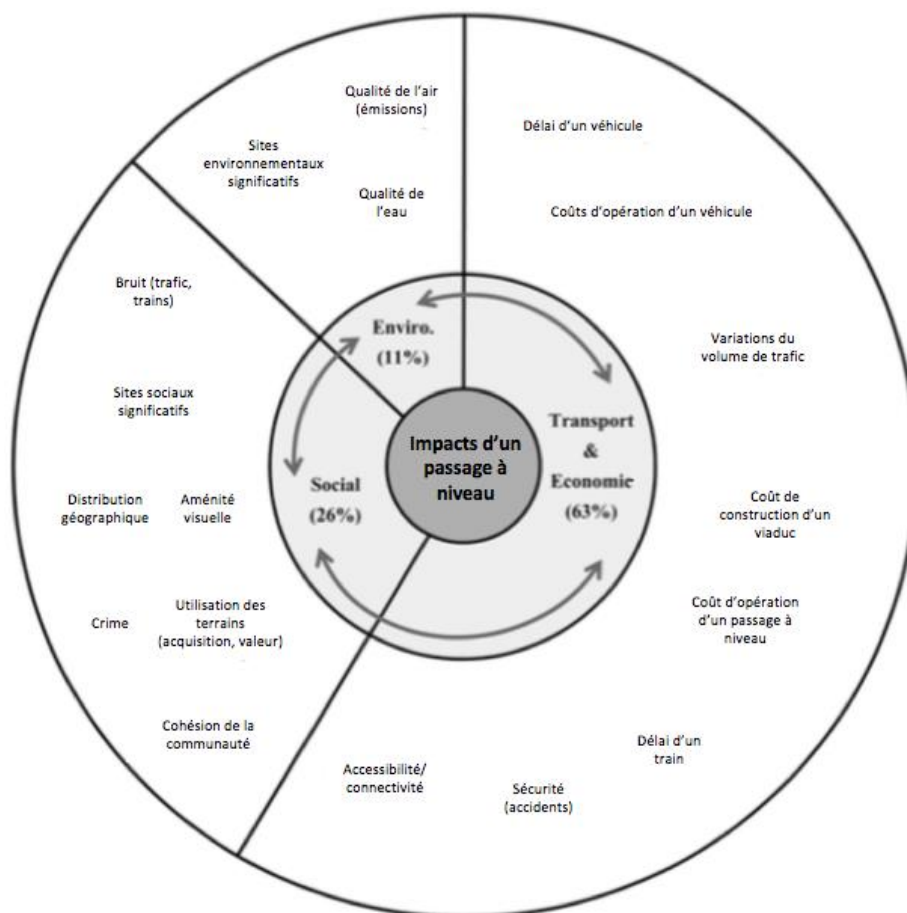


Figure 2-4 Impacts d'un passage à niveau (traduction libre de Gruyter et Currie (2016), p.12)

2.4 Niveau de bruit

Le bruit, peu importe la source, a des effets néfastes sur la santé d'une population. Le transport est la source principale de bruit dans notre société et affecte notre santé à plusieurs niveaux. Le bruit des transports peut provoquer, entre autres, de l'inconfort, du stress et des troubles de sommeil. À noter qu'un pourcentage minime de personnes exposées au bruit seront dérangées, et ce, après une longue période.

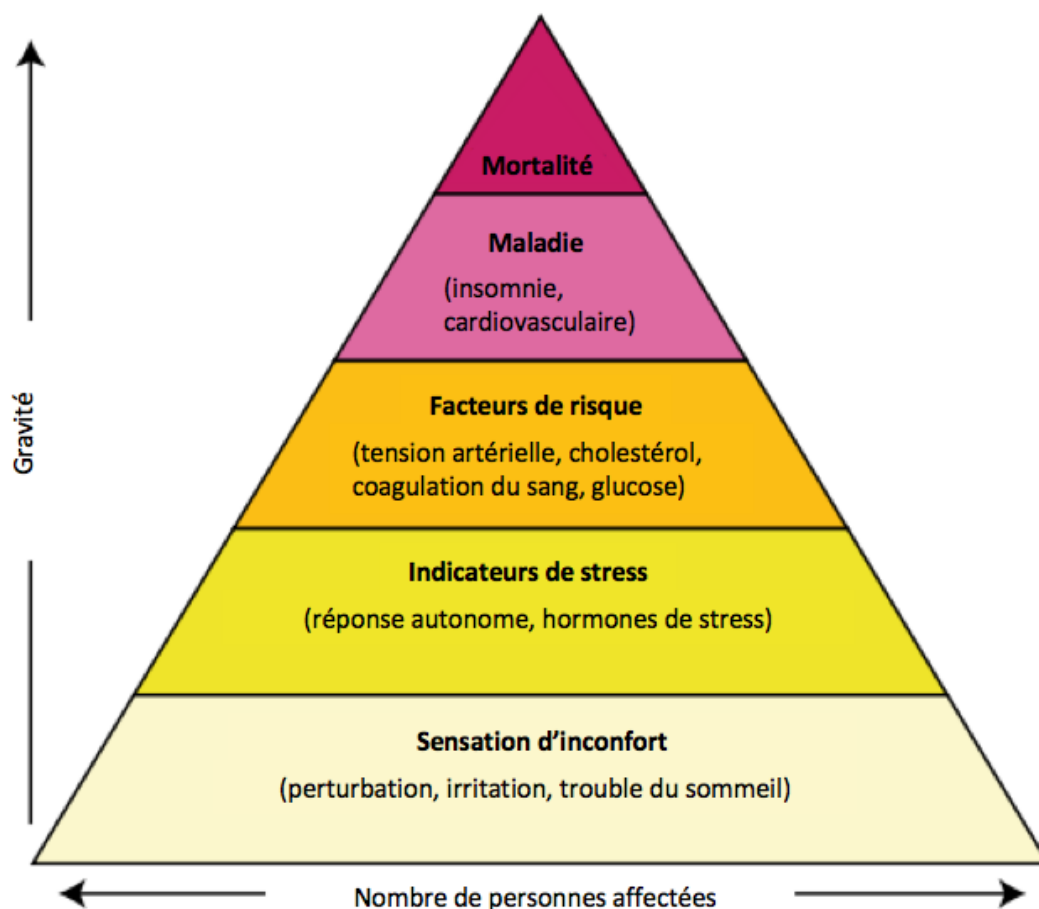


Figure 2-5 Effets du bruit selon la sévérité et le nombre de personnes affectées (traduction libre de l'International Union of Railways (2016), p.11)

Le bruit se disperse différemment selon le territoire et un traitement spatial est nécessaire pour comprendre les impacts du bruit des transports terrestres (Quesseveur, 2001). Il propose en fait de prendre en compte la confrontation spatiale entre la vulnérabilité du territoire et l'exposition du territoire pour obtenir un niveau d'impact potentiel du bruit. Le niveau sonore dépend de la source, mais dans un cas d'analyse des impacts du bruit sur la population, il est également important de considérer la distance, le type de sol, les obstacles, la météo, la morphologie urbaine et la végétation. Un rapport sur le port de Long Beach à Los Angeles présente une méthodologie pertinente concernant l'analyse du bruit d'un port à conteneurs (Khoo et Nguyen, 2011).

Transport ferroviaire

Le bruit du passage d'un train est intermittent et d'une durée limitée. Il provient principalement de la machinerie de la locomotive, du sifflet d'avertissement et de la friction entre les roues des wagons et le rail. La friction des roues des wagons avec le rail dépend principalement de la vitesse du train, du nombre de wagons et du nombre de locomotives. Notons également que les petites courbes de rayon dans la voie créent des crissements de roues provoquant ainsi des niveaux de son à haute fréquence. Thompson et Jones (1999) expliquent comment le bruit de roulement est généré par la roue, le rail et les traverses. Il présente le modèle TWINS (Track-Wheel Interactive Noise Software) permettant de prédire le niveau de bruit de l'interaction roue-rail.

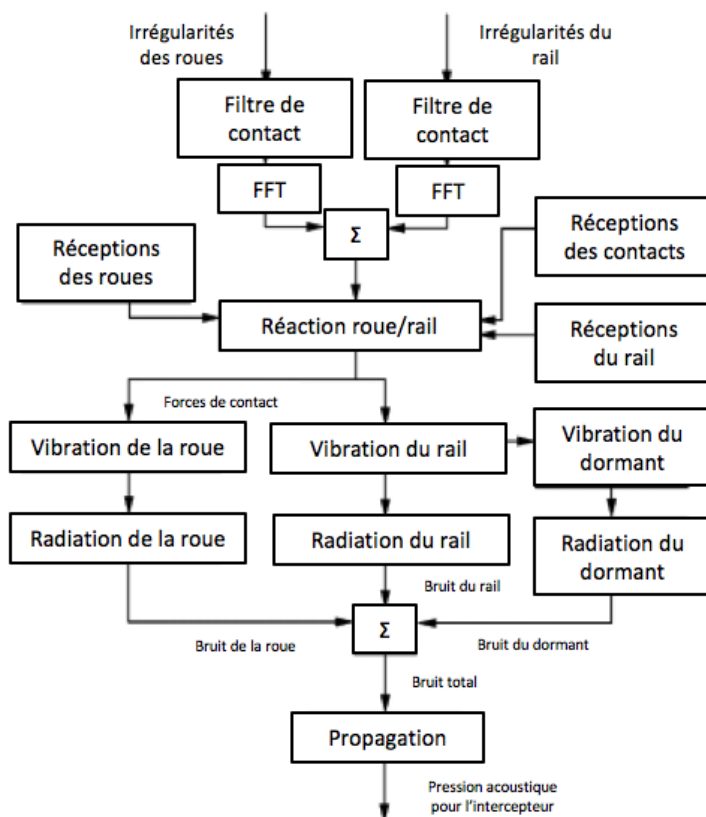


Figure 2-6 Représentation schématique du modèle de calcul TWINS (traduction libre de Thompson & Jones (1999), p.521)

En se penchant sur le transport ferroviaire, on remarque qu'il est difficile de concilier la tranquillité des résidents avec les activités ferroviaires. Il faut donc minimiser l'exposition des résidents à ces

activités, car le bruit du passage d'un train dérange les gens, et ce, à toute heure de la journée. Plusieurs mesures d'atténuation sont présentées dans les lignes directrices applicables aux nouveaux aménagements à proximité des activités ferroviaires (Fédération canadienne des municipalités et Association des chemins de fer du Canada, 2013). Par exemple, comme illustré à la Figure 2-7, pour atténuer les problèmes liés au bruit et vibrations, les mesures standards suivantes peuvent être utilisées : une marge de recul minimale, une berme de terre, une clôture acoustique et/ou une clôture de sécurité à mailles losangées, etc. À noter que ces mesures doivent être combinées et sont souvent plus difficiles à appliquer lorsque les aménagements sont déjà construits.

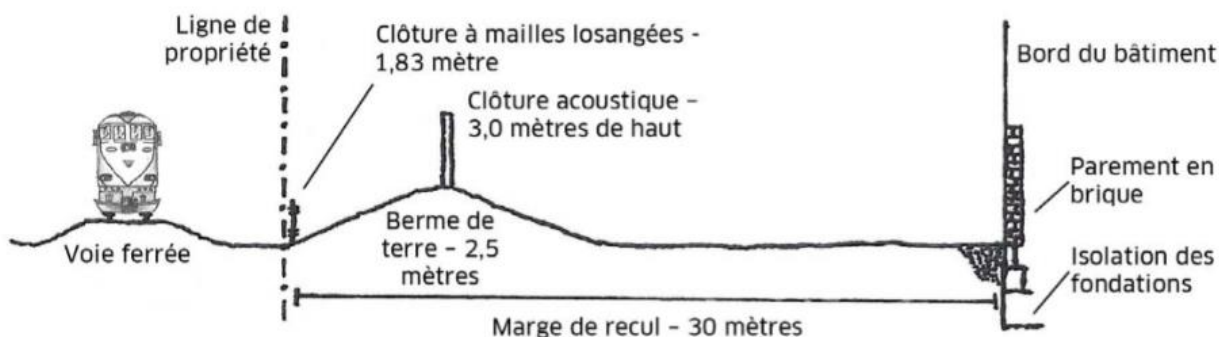


Figure 2-7 Mesures d'atténuation standards pour les aménagements à proximité d'une ligne ferroviaire principale (ACFC et FCM (2013), p.19)

La méthodologie de mesure venant en aide à la résolution des plaintes relatives au bruit et aux vibrations ferroviaires permet de guider les compagnies de chemin de fer, les citoyens et les municipalités dans l'évaluation des bruits causés par le passage des trains (Office des transports du Canada, 2011). Elle présente une méthodologie permettant de connaître le niveau de bruit du passage d'un train considérant la vitesse, la longueur, l'heure de passage, la distance entre le récepteur et la voie ferrée, l'emplacement du récepteur et les zones de sifflement.

Puisque le bruit du passage des trains est intermittent, celui-ci est considéré moins nuisible que le bruit des camions. En fait, le bruit des autoroutes tend à être constant et donc dérangeant sur une plus longue période de temps. Par contre, individuellement, le passage d'un train cause un bruit plus élevé que le passage d'un camion d'environ 10 dB(A) (Office des transports du Canada, 2011).

Néanmoins, lorsqu'il vient temps de mesurer le niveau de nuisance sonore chez les gens, d'autres facteurs entrent en ligne de compte comme la distance par rapport à la source du bruit.

Effets

Il faut toutefois s'attarder aux effets et conséquences des niveaux sonores générés par les trains. Les recherches démontrent que l'exposition aux bruits peut induire une déficience auditive, des dérangements, une perturbation du sommeil et une nuisance à la performance mentale. Le désagrément des niveaux de bruit ferroviaire est alors analysé dans plusieurs études pour mieux comprendre son effet. Tout d'abord, un changement de 3 dB(A) dans un environnement normal sera accepté et à peine perceptible pour la plupart des gens. Cependant, un changement de 5 dB(A) est facilement perceptible et une augmentation de 10 dB(A) sera perçue deux fois plus forte (Khoo et Nguyen, 2011). Gjestland présente un bon état de la recherche quant à l'évaluation du comportement de la population face au bruit (Gjestland, 2008). Les enquêtes sur les réactions face aux bruits du transport diffèrent souvent, mais elles donnent une bonne idée du pourcentage de personnes affectées par le bruit.

Dans un tel contexte, il est important de s'attarder sur le sens que peut prendre le niveau de dérangement sonore. On l'utilise souvent comme une évaluation globale des perturbations et des dérangements du bruit comme étant un sentiment nuisible provoqué par le son. Par contre, ce sentiment est sensible à la subjectivité et le milieu socioculturel a une influence importante sur l'attitude des gens face au bruit (Cik, 2016). Ils doivent donc être considérés en plus des paramètres physiques.

Des études se sont penchées sur les conséquences du bruit ferroviaire sur le sommeil (Öhrström, Ögren, Jerson et Gidlöf-Gunnarsson, 2008) en le comparant avec les niveaux sonores des autoroutes (Lercher, de Greve, Botteldooren et Rüdiger, 2008). Les troubles du sommeil peuvent être un élément inquiétant pour la population concernant le passage des trains durant la nuit. Le bruit des trains peut venir affecter la qualité du sommeil et ainsi avoir des répercussions sur la santé des gens. Effectivement, les formes chroniques d'insomnie peuvent être classées comme des risques pour la santé (The European Commission, DG Health & Consumer Protection, 2001). En général, sur une période de 24 heures, le bruit d'un train est moins dérangent pour les gens que les bruits en provenance de la route principale et de l'autoroute.

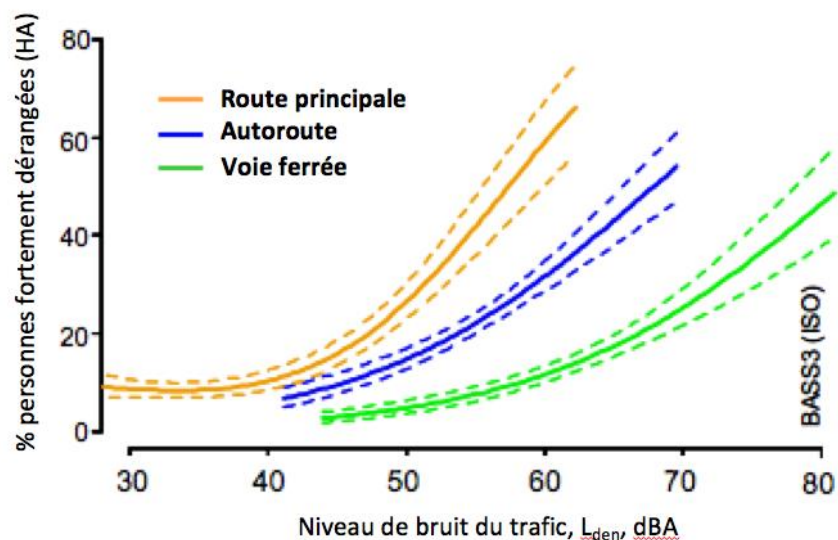


Figure 2-8 Niveau de bruit dérangeant sur 24 h (traduction libre de Lercher, P., De Greve, B., Botteldooren, D., Rüdissier, J. (2008), p.5)

Cependant, durant la nuit, si le bruit provenant d'un train dépasse 55 dB(A), il deviendrait plus dérangeant que ceux causés par la route principale et l'autoroute. Il faut toutefois se situer près de la voie ferrée pour atteindre un niveau de bruit aussi élevé tout dépendant de ce qu'il y a entre la maison et la voie ferrée.

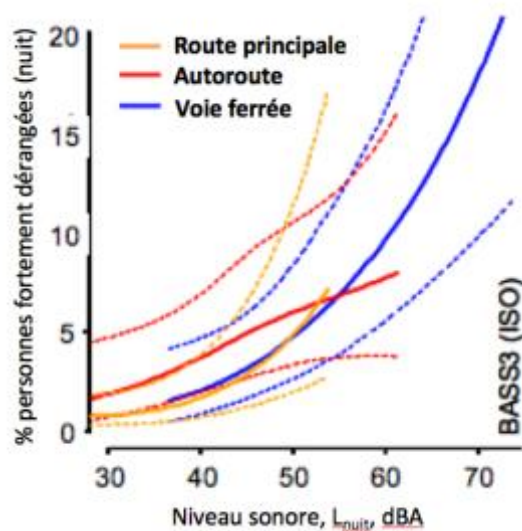


Figure 2-9 Niveau de bruit dérangeant durant la nuit (traduction libre de Lercher, P., De Greve, B., Botteldooren, D., Rüdissier, J. (2008), p.5)

Le bruit aurait également un impact sur la performance des jeunes à l'école (Shield & Dockrell, 2003). En fait, un des effets nuisibles du bruit serait la dégradation de l'intelligibilité de la parole en classe. Toutefois, les impacts sur le développement cognitif de l'enfant ne sont pas encore parfaitement compris. Ces recherches peuvent être intéressantes pour les écoles à proximité des voies ferroviaires. Effectivement, le bruit des trains ne devrait pas nuire à la concentration et ainsi rendre l'apprentissage plus difficile.

Les critères de bruits recommandés pour les nouveaux aménagements résidentiels à proximité d'une voie ferrée par La Fédération canadienne des Municipalités et l'Association des Chemins de Fer du Canada dans *Les lignes directrices applicables aux nouveaux aménagements à proximité des activités ferroviaires* (2013) sont les suivants :

Tableau 2-2 Critères sonores recommandés pour les nouveaux aménagements à proximité d'une voie ferrée (ACFC et FCM (2013), p.83)

Type d'espace	Période	Niveau sonore Leq (dBA) intérieur	Niveau sonore Leq (dBA) extérieur
Chambre à coucher	23 h - 7 h	35	50
Salon/Salle à manger	7 h - 23 h	40	55

Les niveaux sonores recommandés sont différents entre le jour et la nuit considérant que les gens dorment et que le bruit ambiant est faible. Des critères de bruit sont également recommandés pour les aménagements résidentiels à proximité de triages ferroviaires.

Tableau 2-3 Critères sonores recommandés pour les nouveaux aménagements à proximité du triage ferroviaire (ACFC et FCM (2013), p.85)

PÉRIODE	LEQ 1 H (DBA) OU LLM (DBA)	
	Zone de catégorie 1	Zone de catégorie 2
De 7 h à 19 h	50	50
De 19 h à 23 h	47	45
De 23 h à 7 h	45	45

*La zone 1 représente les zones urbaines tandis que la zone 2 représente les zones rurales.

Santé Canada suggère que des mesures d'atténuation soient utilisées si le pourcentage de personnes dérangées (% HA) prévu varie de plus de 6,5 % entre la différence avant-après du projet ou si le bruit dû au projet excède 75 dB (ACFC et FCM, 2013).

Finalement, selon l'article 95.1 de *La loi sur les transports au Canada* (2016), la compagnie de chemin de fer qui construit ou exploite un chemin de fer doit limiter les vibrations et le bruit produits à un niveau raisonnable.

2.5 Niveau de vibration

Par rapport au bruit, les vibrations sont souvent négligées par la recherche. Effectivement, les niveaux de vibration sont plus compliqués à mesurer et difficilement observables. Ils dépendent fortement de la souplesse des roues du train et du rail ainsi que du système de suspension. Puisque les vibrations se propagent par le sol, les conditions du sol auront une influence importante sur le niveau de vibration. Effectivement, les sols durs, telles l'argile et la roche, peuvent transmettre des vibrations sur de longues distances tandis que les sols plus humides absorberont davantage les vibrations (The Port Authority of New York & New Jersey, 2014). Les vibrations ont par conséquent également un impact sur les personnes vivant à proximité d'une voie ferrée. Il est pertinent d'évaluer ses effets sur la population. Toutefois, les vibrations causent rarement des problèmes à plus de 50 mètres de la voie ferrée (ACFC et FCM, 2013).

Tout d'abord, notons que les vibrations créées par les trains de marchandises diffèrent des trains de passagers au niveau de l'amplitude et de la fréquence (Waddington, Woodcock, Smith, Janssen & Waye, 2015). En fait, les trains de marchandises sont souvent plus longs et voyagent moins rapidement que les trains de passagers. Il est également important d'évaluer le niveau de vibration en ajout au niveau de bruit, car les deux sont présents lors du passage d'un train et chacun influence la probabilité d'inconfort perçu par un individu. Une étude conclut que la fourchette de fréquences dominante pour les trains de marchandises se situe autour de 5 à 10 Hz (Smith, Ögren et Waye, 2012). Par ailleurs, comme l'humain a une plus grande perception du niveau de vibration lorsqu'il est couché, la perturbation est plus importante durant le sommeil.

Le projet *CargoVibes* présente les lignes directrices afin d'établir les niveaux de vibration en provenance du transport ferroviaire (Woodcock, Peris et Moorhouse, 2013). La méthodologie

permet d'évaluer les impacts sur la santé des gens et les troubles du sommeil et d'assurer un niveau de vibration acceptable pour la population vivant à proximité d'une voie ferrée. Pour prévoir les réactions humaines aux vibrations, on utilise l'amplitude quadratique moyenne (RMS). Le seuil de perception humaine s'établit à environ 0,1 mm/s RMS et les trains peuvent atteindre jusqu'à 0,4 mm/s RMS (ACFC et FCM, 2013). Cependant, les vibrations n'atteindront jamais une intensité assez élevée pour causer des dommages de structure.

Pour évaluer l'inconfort causé par les vibrations, le graphique suivant montre bien le pourcentage de personnes affectées selon le niveau de vibration en utilisant 3 outils de mesure différents ($V_{dir,max}$, VDV et rms) selon Waddington et al. (2015).

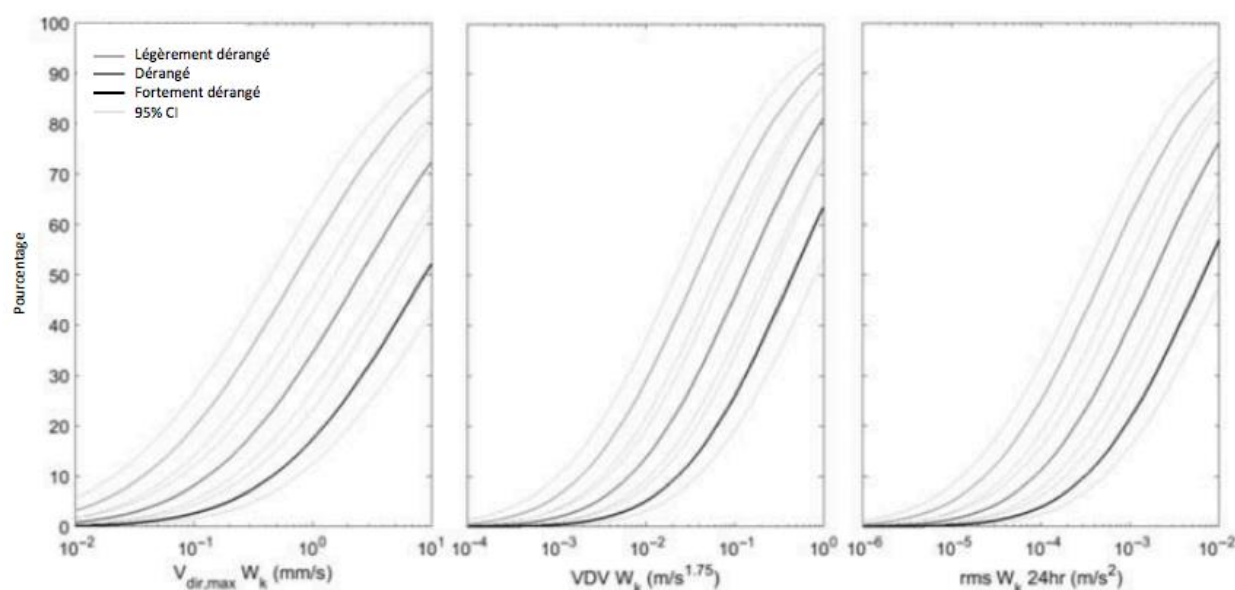


Figure 2-10 Courbe d'exposition aux vibrations (traduction libre de Waddington, Woodcock, Smith, Janssen & Wayne (2015), p.238)

Une étude compare également la vibration d'un train et son niveau sonore sur le rythme cardiaque durant la nuit (Smith, Croy, Ögren & Persson Wayne, 2013). La durée de la vibration a un léger effet sur la perception. Par conséquent, l'humain ne sera pas affecté tout au long du passage du train, mais plutôt au début. En effet, le corps est perturbé à l'arrivée de la vibration et il s'habitue par la suite tout dépendant du temps de passage du train.

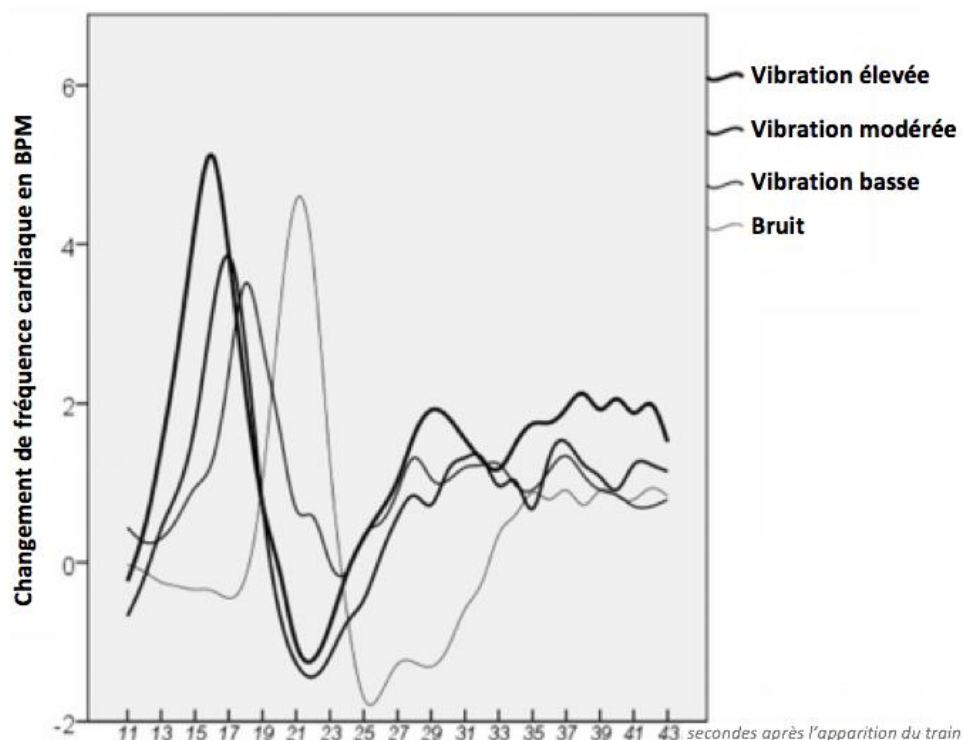


Figure 2-11 Variation du rythme cardiaque en réponse au bruit et aux différents niveaux de vibration (traduction libre de Smith, Croy, Ögren & Persson Waye (2013), p.7)

Bref, la littérature aborde bien les aspects économiques et environnementaux du transport ferroviaire. Elle aide alors les entreprises à prendre des décisions avantageuses pour le développement économique de la région en minimisant les effets néfastes sur l'environnement. Les préoccupations des citoyens sont également prises en compte dans les consultations publiques, mais peu d'articles se penchent sur l'analyse de ses préoccupations sociales. En fait, nous connaissons les impacts du passage d'un train dans les milieux urbains, mais ignorons souvent l'ampleur et la portée des conséquences. Par exemple, nous savons que le passage d'un train peut causer des temps d'attente au passage à niveau et un niveau sonore élevé, mais combien de personnes seront impactées ? Comment les conséquences varient-elles selon le temps de la journée ou le volume d'opération du pôle logistique ? Serait-il pertinent de construire un viaduc ?

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie proposée permet de mieux analyser les impacts du passage des trains afin d'obtenir des résultats pertinents au processus d'acceptabilité sociale d'un projet. Elle se concentre sur les impacts concernant la circulation routière, la sécurité, le niveau sonore et les vibrations. La méthode se base sur l'intégration des données géographiques disponibles dans un système d'intégration géographique et fait l'analyse des projections futures d'un projet à l'aide des données présentes notamment dans l'évaluation environnementale. En utilisant la dynamique de file d'attente et en s'inspirant du modèle de Webster (Okitsu, Louie et Lo, 2010), il est possible de prévoir les conséquences des passages de trains sur la circulation routière aux passages à niveau. Par ailleurs, les impacts dénotés par Gruyter et Currie (2016) sont analysés par rapport aux données démographiques de la région. Quant à l'analyse du bruit, on s'inspire de la méthodologie de mesure du bruit ferroviaire présentée par l'Office des transports du Canada et des mesures d'atténuation standards pour les aménagements à proximité d'une ligne ferroviaire principale proposées par l'ACFC et la FCM (2013). Il faut comprendre qu'il ne s'agit pas d'une méthodologie concernant seulement le calcul des impacts, mais surtout l'analyse de ceux-ci.

Bref, la section suivante permet de présenter le cadre méthodologique en s'attardant sur l'état actuel, les prévisions, le calcul des impacts et la présentation d'un outil Excel interactif. Voici un schéma résumant les étapes de la méthodologie. Il présente les intrants nécessaires aux calculs afin d'obtenir les résultats pertinents.

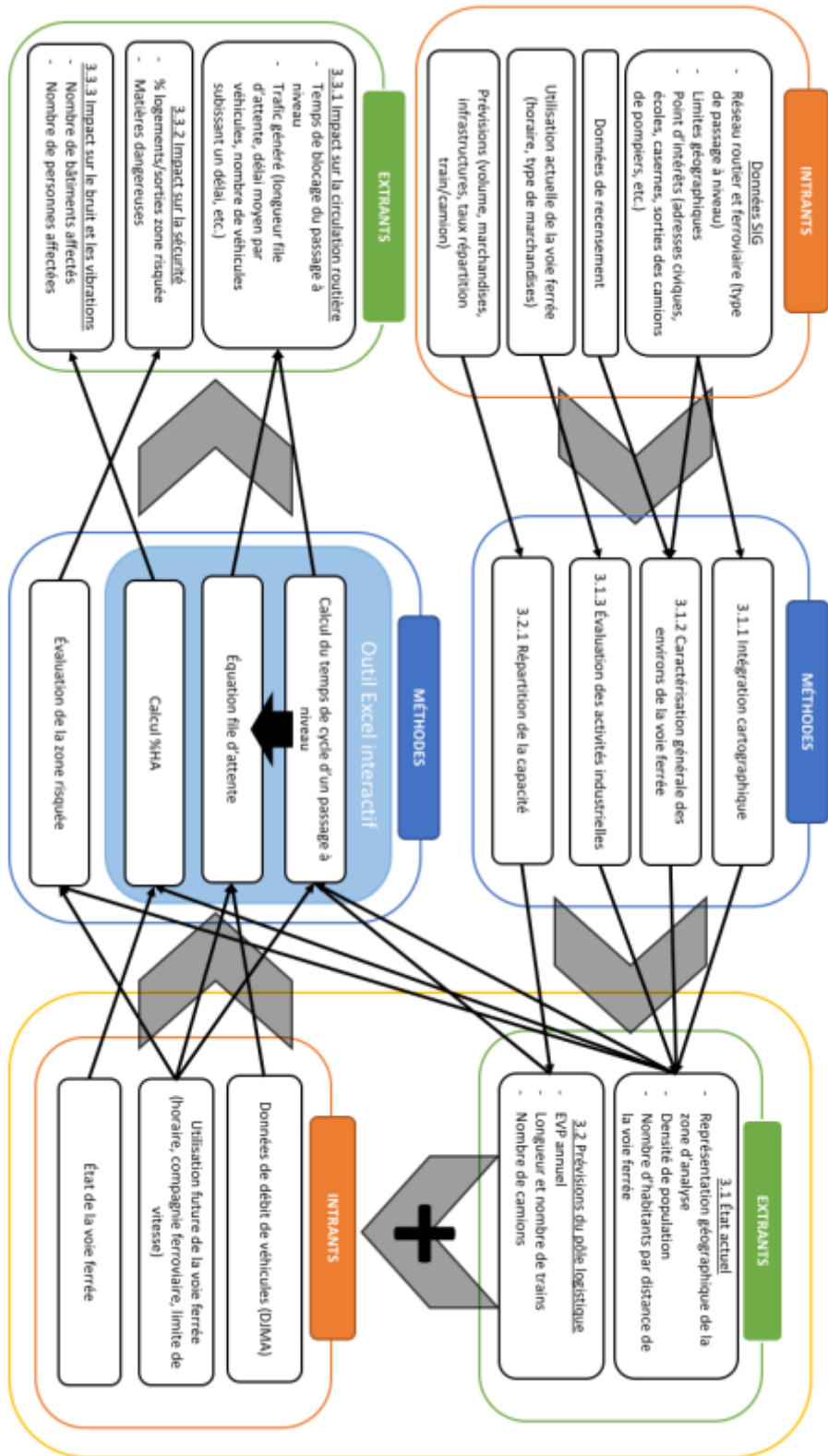


Figure 3-1 Schéma de présentation de la méthodologie

3.1 État actuel

Avant tout, il est important de faire un état de la situation actuelle de la population. En fait, les pôles logistiques sont souvent construits dans les endroits où il existe déjà une activité industrielle. Par conséquent, il existe déjà des infrastructures présentes sur des zones agricoles, industrielles ou résidentielles. Les répercussions du projet sur les zones résidentielles sont le cœur même de ce mémoire et la représentation de l'information géographique est primordiale pour l'analyse.

3.1.1 Intégration cartographique des données disponibles

Afin de caractériser le territoire de la voie ferrée, il faut intégrer plusieurs ensembles de données dans une base de données géographiques. L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) représente un bon outil pour conserver, analyser et présenter les données spatiales et géographiques du territoire. Il faut tout d'abord construire la représentation visuelle abstraite de la région voulue avec les données pertinentes à travers différentes couches.

Réseaux

Premièrement, les réseaux sont un ensemble de lignes où il y a connexité comme les réseaux ferroviaires et routiers. Au Canada, il est possible d'obtenir les bases de données du réseau ferroviaire national (RFN) et du réseau routier national (RRN) par province sous format de fichier SHAPE grâce aux données GéoBase gratuites de Ressources naturelles Canada (2016).

Le RFN offre une description géométrique et un ensemble d'attributs de base sur les voies ferrées canadiennes comme l'état, l'exploitant, le type d'utilisation, les gares, etc. Par exemple, il sera facile de savoir si les trains de marchandises doivent partager la voie avec les trains de voyageurs. Pour obtenir la géolocalisation des passages à niveau, Transports Canada (2016) fournit un inventaire de tous les passages à niveau au Canada en format CSV. Ainsi, par la géocodification, on obtient une représentation complète du réseau ferroviaire de la région à analyser.

L'entité linéaire du RRN représente tous les segments routiers d'un territoire donné. Ainsi, on obtient le nom/numéro d'une rue, le nombre de voies, le type de chaussée, le sens de la circulation, la date de création, la limite de vitesse, la classification routière, etc. Ces informations seront entre

autres utiles dans l'analyse du transport de marchandises par camion. À noter qu'il est également possible d'obtenir le réseau hydrologique national (RHN) décrivant les eaux de surface intérieures (fleuves, rivières, ruisseaux) sur le site de Ressources naturelles Canada (2016).

Limites

Il est possible de séparer le territoire en plusieurs régions. Le découpage géographique permet d'obtenir des informations sur une région en particulier. Cette région peut s'avérer grande comme une région économique (RÉ) ou une division de recensement (DR) ou être plus petite comme une municipalité, une aire de diffusion (AD) ou un îlot de diffusion (ID). La séparation en aire de diffusion permet de séparer la région analysée en regroupement de 400 à 700 habitants. C'est en fait la plus petite unité commune sur laquelle les statistiques générales sont diffusées qui permettra d'obtenir une représentation la plus précise possible d'un milieu urbain. En général, les endroits où la population est le plus concentrée concordent effectivement avec les endroits où il y a le plus de passages à niveau et où il sera intéressant d'étendre notre étude.

Au Canada, tous les 5 ans, un recensement dénombre la population et certaines de ses caractéristiques. Les thèmes qui y sont abordés permettent d'obtenir des données pertinentes concernant la description d'une population (âge, sexe, dénombrement, revenus, lieu de travail, logements, etc.). À l'aide de la séparation en AD, il est donc possible de savoir le nombre de personnes habitants aux abords d'une voie ferrée par exemple.

Point d'intérêts

La géocodification permet de positionner certains points d'intérêt sur notre carte à l'aide de leurs coordonnées géographiques. Ces points peuvent être intéressants afin de caractériser le territoire et de l'analyser.

Tout d'abord, les coordonnées des adresses civiques établissent les zones urbaines dans une région. Elles sont souvent disponibles au sein des municipalités. Les adresses permettent de situer les bâtiments à proximité de la voie ferrée et d'identifier les quartiers résidentiels peuplés. Avec ces coordonnées, il est possible de réaliser des calculs de distances et de dénombrement qui sont utiles à l'interprétation des impacts du pôle logistique.

Ensuite, il est possible d'obtenir plusieurs points d'intérêts sur des plateformes riches en données géographiques comme *Google Maps* ou *OpenStreetMap*. Plusieurs points d'intérêts comme les écoles, les restaurants, les casernes de pompiers les salons de coiffure, les garderies, les cimetières, les maisons de retraites et autres commerces y sont présents. Il suffit ensuite de les importer à notre base de données géographiques. Il est important de prendre ces points en considération lors de la construction de la cartographie, car ils sont autant sujets aux perturbations du pôle logistique que les résidences. Par ailleurs, il est possible d'entrer manuellement d'autres points d'intérêts jugés pertinents.

Voici une représentation géographique simple construite à l'aide d'un SIG montrant le réseau de transport et les adresses civiques aux alentours du terminal Maisonneuve du Port de Montréal.

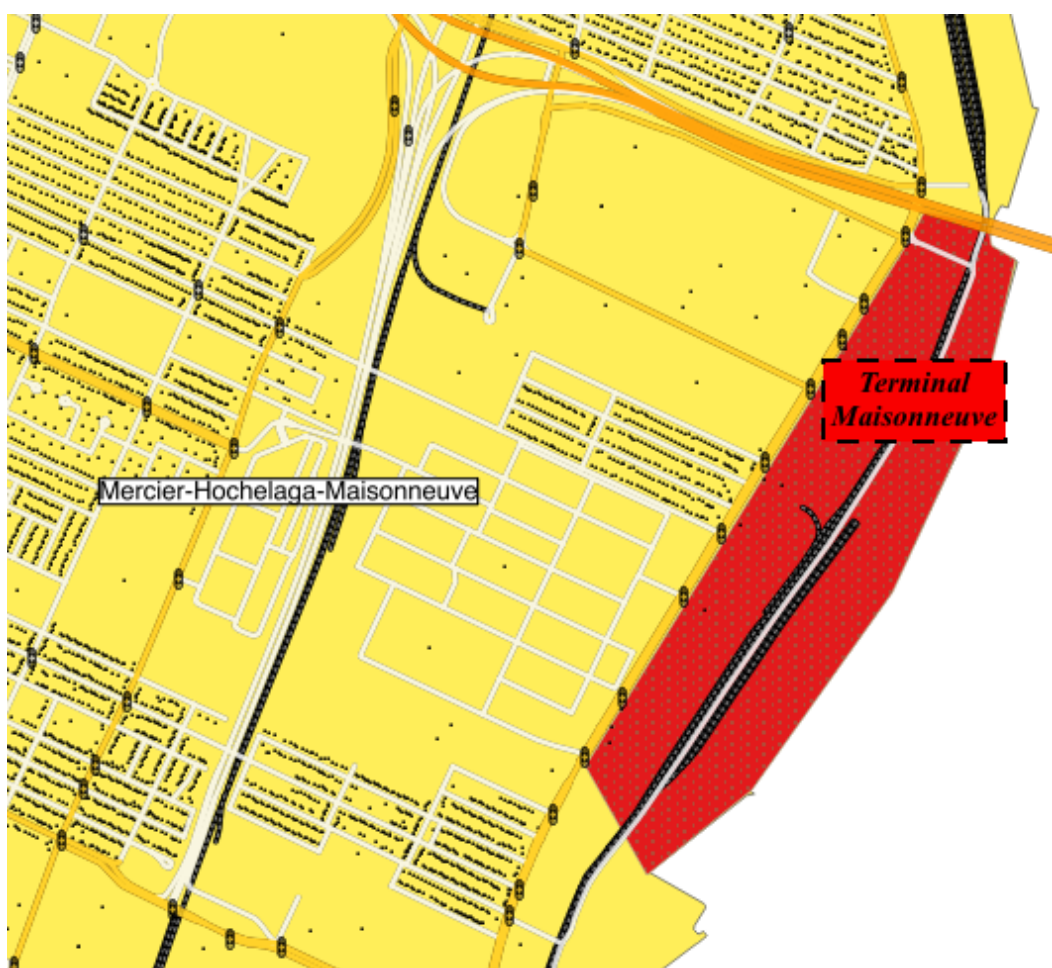


Figure 3-2 Représentation géographique du réseau de transport près du terminal Maisonneuve

3.1.2 Caractérisation générale des environs de la voie ferrée et des axes routiers

Grâce au montage du système d'information géographique de la région et l'intégration des données, il est possible de caractériser les environs de la voie ferrée et des axes routiers. Les calculs ont été réalisés avec le logiciel Quantum GIS (QGIS), un logiciel libre disponible sous Windows, Mac et Linux.

Premièrement, il est important de connaître les concentrations de population grâce au dénombrement de population pour chaque aire de diffusion (AD). À l'aide du calculateur d'expression de géométrie *\$area*, il est possible de calculer l'aire d'un polygone. Ainsi, en divisant le nombre d'habitants d'une AD par son aire, on obtient la concentration de population de chacun des polygones.

$$\text{Concentration de population} = \text{Nombre d'habitants} / \text{Aire} \quad (3)$$

En classant les zones de population selon leur densité de population (5 groupes de dégradés du jaune au rouge, d'une petite concentration à une grande concentration), on peut bien voir les régions habitées au bord d'une voie ferrée. Voici un exemple de la région du port de Montréal où l'on peut observer les zones plus à risque lors du passage d'un train.



Figure 3-3 Densité de population dans la région du port de Montréal

Ensuite, à l'aide de chacune des adresses civiques, il est possible de calculer leur distance par rapport à la voie ferrée principale. Grâce à l'extension *NNJoin* de QGIS, on obtient la distance perpendiculaire la plus courte entre un point et une ligne. Ainsi, avec la distance de chaque résidence par rapport à la voie ferrée, on peut approximer le nombre d'habitants selon certaines distances. Pour ce faire, on doit calculer le nombre d'habitants en moyenne par résidence d'une région et le multiplier par le nombre d'adresses civiques. Notons que la séparation des concentrations par municipalité se fait bien puisque les données de population totale d'une municipalité sont plus facilement accessibles.

$$Nb. d'habitants touchés = \frac{Population\ totale}{Nb. d'adresses\ civiques\ totale} \times Nb. d'adresses\ civiques\ touchés \quad (4)$$

Par exemple, sachant que 500 adresses civiques se situent à moins de 100 mètres dans notre région d'analyse et qu'il y a en moyenne 2,5 habitants par résidence, alors on sait que 1 500 personnes sont affectées par le passage d'un train à cette distance.

Le calcul des distances peut être utilisé pour tous les autres points d'intérêts mentionnés plus tôt et ainsi obtenir un classement des points d'intérêts les plus près de la voie ferrée. Il sera particulièrement intéressant de connaître la distance des écoles et des commerces par rapport à la voie ferrée. Il peut être également intéressant d'évaluer la proportion de population pour chaque ville selon certaines distances de la voie ferrée. Il devient alors possible de comparer certaines régions entre elles et de mieux comprendre la proportionnalité par rapport à la quantité.

3.1.3 Évaluation des activités industrielles actuelles

L'utilisation de la voie ferrée dépend des activités industrielles qui se trouvent le long de cet axe. Les parcs industriels et l'emplacement stratégique des réseaux routiers et ferroviaires facilitent les activités de transport des entreprises d'une région. Le nombre de trains actuels, leurs longueurs et leurs horaires peuvent être des éléments variables, car, en général, l'utilisation de la voie ferrée peut varier chaque jour en fonction des besoins. En effet, l'affrètement ou non d'un convoi ferroviaire dépend directement de la présence de matière à transporter. C'est pourquoi un inventaire des entreprises importantes aux abords de la voie ferrée et de leurs activités permet de prédire plus facilement l'utilisation actuelle de la voie ferrée et des axes routiers concernant le transport de marchandises sans pour autant devoir utiliser une méthode de comptage sur le terrain.

3.2 Prévisions du pôle logistique

Lors de projets de pôle logistique d'envergure, les plans d'infrastructure, les prédictions logistiques et les stratégies commerciales sont souvent énoncés dans un rapport de projet. Afin d'obtenir une bonne analyse d'impact, il est important de bien connaître la planification du projet afin d'obtenir des prédictions les plus justes possibles. Ces prédictions concernant les infrastructures, la capacité, la marchandise et les transporteurs auront un impact direct sur notre analyse.

Dans le cas des terminaux maritimes, selon la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale*, une évaluation environnementale est obligatoire pour certains projets désignés comme un :

« terminal maritime [...] les aires, l'équipement et les structures : liés au mouvement des marchandises entre les navires et la terre ferme ainsi que les aires d'entreposage connexes, y compris les aires, l'équipement et les structures affectés à la réception, à la manutention, à la mise en attente, au regroupement et au chargement ou au déchargement de marchandises transportées par eau. ».

Ainsi, il est possible d'obtenir plusieurs informations pertinentes sur la planification du projet d'envergure dans ce document de description de projet.

3.2.1 Répartition de la capacité

La capacité du nouveau pôle logistique représente la donnée primaire qui influence le reste des impacts. En fait, cette capacité se calcule souvent en équivalent vingt pieds (EVP). Un EVP représente l'unité de mesure des conteneurs. Un conteneur de 20 pieds équivaut à 1 EVP et un conteneur de 40 pieds équivaut à 2 EVP tout simplement. On prend donc en compte les conteneurs entrant et sortant, qu'ils soient chargés ou vides, pour établir le trafic annuel d'un pôle. Pour les marchandises en vrac, on utilisera les millions de tonnes (MT). Ainsi, un pôle logistique prédira sa capacité annuellement en EVP et en MT.

Il faut souvent plusieurs années pour que les activités d'un pôle atteignent leur objectif. Tout dépendamment de l'envergure du projet, il ne faut pas s'attendre à ce que les activités logistiques soient à leur pleine capacité dès la première année. Ainsi, le volume de marchandises transité

chaque année augmentera logiquement au fur et à mesure que le nouveau pôle s'implantera. Par exemple, le port de Montréal a mis près de 50 ans pour atteindre un volume d'environ 1,5 million d'EVP par année sur le territoire de Montréal. Bref, selon les objectifs visés, le projet pourrait atteindre sa capacité maximale à cause de la limitation des infrastructures, et ce, après seulement plusieurs années d'opérations.

Grâce à cette capacité, il est possible de déduire le nombre d'EVP en transition par jour. La répartition de la marchandise entre les camions et le train indiquera le volume transporté par chacun des modes. En général, nous pouvons supposer que le taux de répartition tourne autour de 50 % pour les deux types de transport. Notons que la nature des produits est souvent différente selon les saisons et peut par conséquent affecter la composition des trains et la répartition des conteneurs.

3.2.2 Transport

Le volume de transport de marchandises dépend directement de la capacité du pôle, pourvu que le pôle assure ses projections. Donc, plus le volume de trafic de marchandises est grand, plus les impacts seront importants sur le réseau. Bref, la marchandise sera séparée sur des camions et des trains tout dépendamment de sa destination.

Trains

Au Canada, les deux plus grandes compagnies de chemin de fer spécialisées dans le transport de marchandises sont le Canadien National (CN) et le Canadien Pacifique (CP). En Amérique du Nord les trains *double-stack* sont souvent utilisés puisqu'ils permettent de transporter le double de marchandises sur un même train. Au CN, la longueur maximale de ces trains intermodaux à deux étages est de 4 200 mètres. Puisque la longueur du train est tout d'abord adaptée au poids de la marchandise à transporter, il faut considérer la puissance de traction des locomotives et la résistance de la voie ferrée. Bref, la longueur maximale de 4 200 mètres est limitée par les contraintes opérationnelles des compagnies ferroviaires, telles que le poids de la cargaison et les infrastructures de manœuvre. En outre, durant l'hiver, la longueur des trains est souvent raccourcie à cause des capacités du système de freinage diminuées par les températures froides.

Selon le port de Montréal, les trains intermodaux du CN ont une capacité moyenne de 19 pieds de train par EVP. Ainsi, en connaissant la capacité annuelle d'un terminal et son taux de répartition train-camion, il est possible de connaître la longueur de train nécessaire par jour :

$$\text{Longueur train} = \frac{\left(\frac{\text{Capacité annuelle}}{2}\right)}{365} \times \text{taux de répartition} \times \text{capacité} \quad (6)$$

On suppose que les compagnies ferroviaires veulent maximiser la longueur de leurs trains pour diminuer leurs coûts logistiques et optimiser leurs opérations. Également, selon la destination des conteneurs, les trains ne pourront pas toujours atteindre une longueur maximale de 4 200 mètres. Certains conteneurs ayant une destination moins fréquente resteront plus longtemps en stock pour ensuite être assemblés lors de l'arrivée d'autres conteneurs ayant la même destination. Par conséquent, le contenu d'un bateau ne sera pas nécessairement réparti au complet immédiatement sur les trains et des camions.

Camions

La marchandise à portée locale sera souvent expédiée par camion considérant la souplesse de ce mode de transport. Plusieurs camions de marchandises de type semi-remorque transportent des conteneurs de 40 pieds ou deux conteneurs de 20 pieds (2 EVP). Ainsi, leur capacité se situe généralement à 2 EVP/camion. D'où la formule suivante pour connaître le nombre de camions utilisé par jour :

$$\text{Nombre de camions} = \frac{\left(\frac{\text{Capacité annuelle}}{2}\right)}{365} \times \text{taux de répartition camion} \quad (7)$$

3.3 Calcul des impacts

Une fois la situation actuelle et les prévisions du projet analysées, le calcul des impacts et de ses répercussions est maintenant possible. À l'aide des données obtenues, nous ferons l'évaluation de différents scénarios potentiels sur le réseau de transport en fonction des niveaux d'activité prévus. Nous toucherons notamment aux impacts sur la circulation routière, la sécurité et le niveau de bruit et vibrations.

3.3.1 Impacts sur la circulation routière

Les impacts de la voie ferrée sur la circulation routière sont grandement tributaires de l'heure de passage des trains. En fait, si les trains passent en dehors des heures de pointe, les impacts seront moins importants sur le réseau routier. Dans cette section, nous utiliserons les temps de passage des trains aux passages à niveau, combiné au volume de circulation à ces passages, pour évaluer les impacts.

Horaire des trains

Dans le milieu du transport de marchandises intermodal, il faut s'attendre à ce que des trains passent à toute heure du jour et de la nuit. En effet, l'heure d'arrivée des bateaux est difficile à prévoir et il n'est pas souhaitable pour les compagnies ferroviaires d'avoir des trains en attente au terminal. Par conséquent, on peut supposer que dès qu'un train sera chargé, celui-ci quittera le terminal si la voie ferrée est libre. Avec le temps, il se peut que l'horaire des trains devienne plus prévisible étant donné l'aspect répétitif des activités logistiques. Effectivement, une fois les opérations débutées, il est possible d'établir un horizon de temps du passage des trains. Il sera donc possible d'avoir une bonne idée de l'horaire des trains de marchandises sans pour autant le contrôler. Puisque les données concernant les départs et arrivées des trains sont souvent gardées confidentielles par les compagnies ferroviaires, nous devons les obtenir en questionnant la population ou par les observations sur le terrain. À noter que de récentes recherches (Parolas, Tavasszy et Kourounioto, 2017) tentent de prédire le temps d'arrivée des bateaux de marchandises en combinant les données de position des signaux GPS avec les prévisions météorologiques à l'aide de l'apprentissage automatique. Il deviendrait alors plus facile d'établir l'horaire des trains à l'avance.

Il faut cependant considérer que les trains de marchandises doivent tout de même se coordonner avec les autres trains passant sur la même voie principale. D'une part, il faut considérer l'horaire des trains de marchandises actuels sur la voie ferrée. Par ailleurs, les voies sont assez achalandées aux heures de pointe du matin et du soir par les trains de passagers. Par contre, ces trains sont assez ponctuels et pourraient sûrement permettre le passage de trains de marchandises entre deux voyages. En général, les trains de marchandises restent tout de même limités lors des heures de pointe de semaine sur certains tronçons.

Temps de blocage aux passages à niveau

Il existe 3 types de passages à niveau :

1. Passages équipés de feux clignotants, sonneries et barrières (FCSB).
2. Passages équipés de feux clignotants et sonneries (FCS).
3. Passages passifs sans feux clignotants.

Les calculs de trafic au passage à niveau se feront principalement sur les FCSB, car ce sont ces passages à niveau qui sont situés dans les zones où la circulation routière est la plus élevée. Effectivement, les FCSB se retrouvent principalement dans les zones achalandées propices à l'accumulation des voitures tandis que les FCS et les passifs se situent à des croisements de routes où le débit de véhicules est faible.

Les règles fédérales sont claires en ce qui concerne l'opération des convois ferroviaires aux passages à niveau. Selon le *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada* à la section 103 d),

« À l'exception des passages à niveau publics indiqués dans une instruction spéciale, lorsque des véhicules routiers ou des piétons attendent pour franchir un passage à niveau public, aucune partie d'un mouvement à l'arrêt ne peut occuper pendant plus de cinq (5) minutes une partie quelconque de ce passage à niveau public. En outre, les manœuvres effectuées à de tels passages à niveau ne doivent pas bloquer la circulation routière ou piétonnière pendant plus de cinq (5) minutes à la fois. Cependant, lorsque des véhicules de secours demandent à passer, les employés doivent prendre les mesures nécessaires pour dégager le plus rapidement possible les passages à niveau concernés. »

En fait, un train ne peut pas être immobile et bloquer un passage à niveau pendant plus de 5 minutes. Toutefois, il ne semble pas y avoir de règlement quant au temps maximum de blocage d'un passage à niveau lorsque le train est en mouvement. Nous allons donc calculer le temps de blocage maximal d'un train selon différents facteurs. Voici d'abord les différentes définitions de « temps » associées à un passage à niveau afin de mieux comprendre son fonctionnement et son temps d'utilisation total.

Temps d'approche

Selon les *normes sur les passages à niveau* de Transport Canada, la durée durant laquelle le système d'avertissement doit fonctionner avant l'arrivée du matériel ferroviaire à la surface de croisement doit être la plus élevée des valeurs énoncées à l'article 16.1 concernant la distance de dégagement, le temps de passage d'un véhicule/piéton/vélo, l'interconnexion des feux de circulation, etc. Selon ces valeurs, il existe un minimum de 20 secondes d'avertissement avant l'arrivée d'un train au passage à niveau en question. Par contre, ce temps représente seulement un minimum à respecter et les temps d'annonce réels calculés des passages à niveau FCSB se situent plutôt aux alentours d'une minute.

Temps de passage

Par la suite, il y a le temps de passage du train. Ce temps dépendra alors de sa longueur et de sa vitesse (en supposant une vitesse constante pour le convoi) :

$$\text{Temps de passage} = \frac{\text{Vitesse}}{\text{Longueur}} \quad (8)$$

À propos de la longueur des trains, comme expliqué précédemment, le CN utilise des trains ayant une longueur maximale de 4200 mètres. La longueur dépendra de la formule présentée plus tôt par rapport aux prédictions.

Concernant leur vitesse, selon le rapport de performance du CN des 53 dernières semaines, la vitesse moyenne des trains intermodaux a été de 31 miles/h (50 km/h) durant cet horizon d'un an. Notons qu'au Canada, selon le *règlement concernant la sécurité de la voie*, les vitesses maximales pour les trains de marchandises sont les suivantes.

Tableau 3-1 Limites de vitesse des trains de marchandises au Canada (Association des chemins de fer du Canada (2012), p.10)

Pour les voies répondant à toutes les prescriptions reliées à la:	Vitesse maximale permise pour les trains marchandises
Catégorie 1	10
Catégorie 2	25
Catégorie 3	40
Catégorie 4	60
Catégorie 5	80

Par contre, il existe certaines zones de restrictions où la vitesse maximale permise est moindre. Il faut donc s'informer auprès des compagnies ferroviaires pour obtenir les zones de vitesses permises selon le secteur.

Cependant, il s'agit effectivement de vitesses maximales et, en pratique, il faut plutôt considérer d'autres facteurs. Premièrement, la vitesse dépend souvent du chauffeur et est donc nécessairement inférieure à la limite de vitesse. Également, il se peut que le train n'ait pas la distance requise pour atteindre sa vitesse maximale étant donné une accélération lente. Finalement, il est important de tenir compte de la vitesse au nez du train. En fait, puisqu'il peut atteindre une longueur jusqu'à 4 kilomètres, lorsque le nez du train entre dans une zone de vitesse, cela affecte la vitesse de passage jusqu'à 4 kilomètres à l'arrière. Il faut donc bien analyser les zones de vitesse sur le territoire et la longueur même du train pour prévoir la vitesse de celui-ci.

Temps de remonter des barrières

Finalement, lorsque le train a complètement libéré l'intersection, il faut considérer le temps de remontée des barrières, s'il y a lieu. Selon les *normes sur les passages à niveau*, la lisse de la barrière doit mettre entre 6 et 12 secondes pour remonter. Ainsi, il y a un minimum de 6 secondes d'attente avant que les véhicules puissent se remettre à circuler après le passage d'un train. Par contre, les voitures commenceront à circuler dès le commencement de la montée des barrières et non à sa remontée complète, diminuant alors la valeur minimale de 6 secondes. Ce temps reste toutefois négligeable par rapport au temps total de passage du train.

Bref, le temps total de blocage au passage à niveau (T) sera la somme des 3 temps expliqués ci-dessus :

$$T = \text{Temps d'annonce} + \text{Temps de passage} + \text{Temps de remontée des barrières} \quad (9)$$

La figure suivante permet de bien visualiser les différents temps lors d'un cycle de passage à niveau.

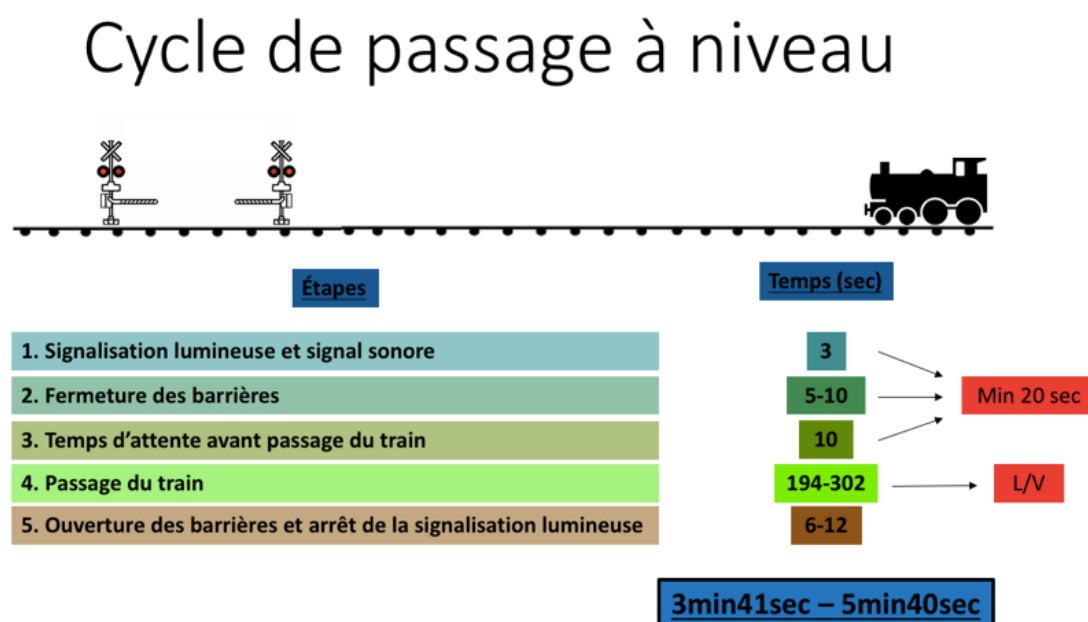


Figure 3-4 Exemple de temps d'un cycle d'un passage à niveau

Débit de véhicules

En analysant les données disponibles du comptage 2012 du Ministère du Transport du Québec, on remarque certaines tendances des automobilistes. Effectivement, en comparant les débits de véhicules dans deux villes différentes durant la semaine à la Figure 3-5, les heures de pointe sont assez semblables entre les villes. En réalité, les travailleurs quittent la maison en général entre 7 h et 8 h et reviennent entre 16 h et 17 h. Par conséquent, les deux points culminants sur le graphique sont à ces deux moments de la journée. Il est possible de séparer la journée en 4 espaces temps selon les tendances de flux de véhicules pour mieux évaluer le trafic routier (matin 5 h-10 h, midi 10 h-15 h, soir 15 h-20 h, nuit 20 h-5 h).

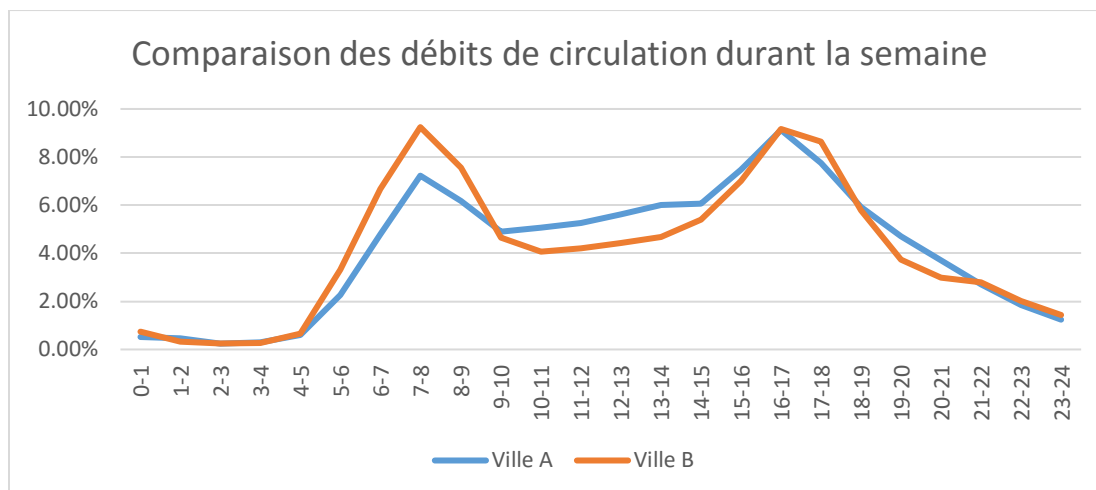


Figure 3-5 Comparaison des débits de circulation à deux points de comptage du MTQ

On peut bien voir la pertinence de la séparation des quatre plages horaires dans le graphique ci-haut. Par conséquent, durant la semaine, les deux plages horaires les plus achalandées seraient le matin et l'après-midi. Avec une analyse semblable pour la fin de semaine, la similarité est également remarquable en comparant les villes A et B. En effet, la différence entre samedi et dimanche est minime, et ce, pour les deux villes. Bref, la circulation semble augmenter de façon constante à partir de 5 h jusqu'à son point culminant vers 18 h, pour ensuite rechuter. Ainsi, les plages horaires du midi et de l'après-midi seraient les plus achalandées le cas échéant.

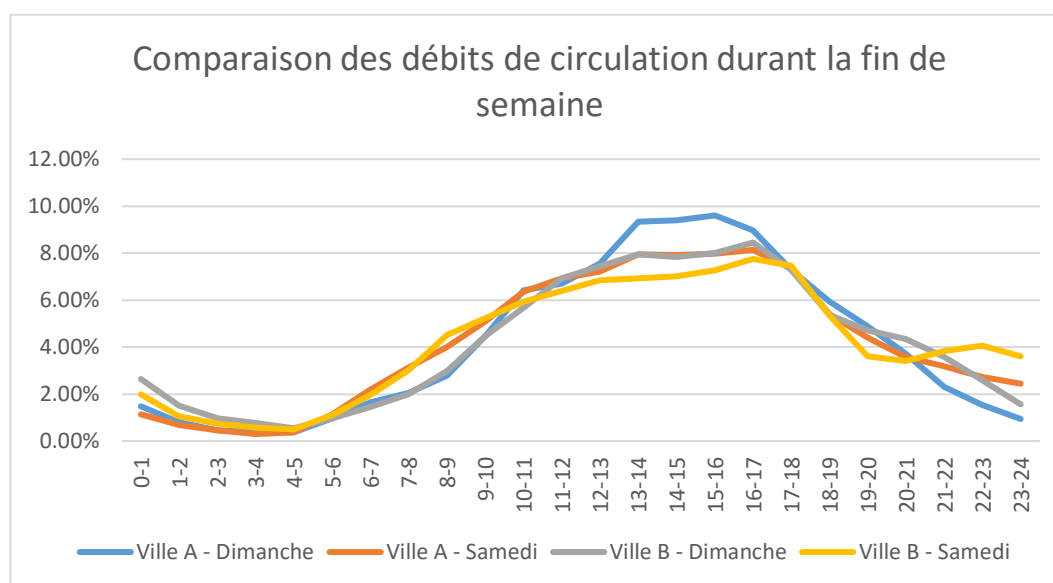


Figure 3-6 Comparaison des heures de pointe durant la fin de semaine

Ces situations sont assez constantes tout au long de l'année avec une légère augmentation du flux de véhicules lors de la saison estivale. Voici un graphique qui montre bien la distribution mensuelle du débit de véhicules au cours de l'année 2012 sur une certaine rue dans la ville A.

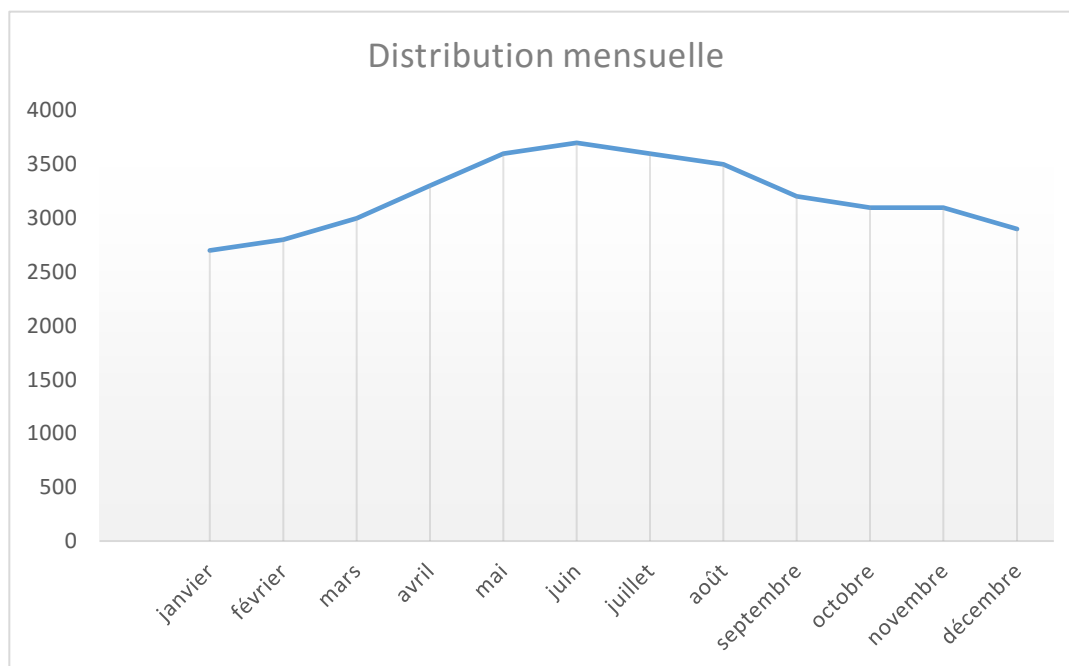


Figure 3-7 Distribution mensuelle du débit de véhicules

En résumé, les heures critiques se situent entre 7 h-8 h et 16 h-17 h au départ et au retour des travailleurs durant la semaine. La fin de semaine, la route est plus achalandée en fin d'après-midi entre 15 h-18 h. Le passage d'un train durant ces heures représente ainsi le plus grand impact pour le trafic aux passages à niveau.

Il est difficile d'obtenir des données sur le débit de véhicules sur les routes secondaires. À moins d'opter pour une méthode de comptage, il sera impossible de connaître le flux de véhicules aux passages à niveau en général. Il est cependant possible de faire des hypothèses selon le comportement de la population vu précédemment et les données de recensement.

File d'attente

Dans cette section, nous déterminons les conséquences sur les files d'attente aux passages à niveau critiques. Lors d'un blocage de passage à niveau, l'accumulation de véhicules se fait durant la durée totale du temps de blocage calculé auparavant. Par la suite, il faut considérer le

temps de dissipation de la file d'attente s'étant accumulée pour ainsi obtenir un temps total d'un cycle de blocage d'un passage à niveau.

Plus précisément, il faut connaître le taux de départ habituel par voie, c'est-à-dire la vitesse à laquelle une file d'attente se vide. Cette valeur est de 1 900 véhicules par heure selon le *Transportation Research Board* (2000). Ce taux a été calculé pour des feux de signalisation, mais le concept reste le même pour le départ de véhicules après une attente d'un passage de train.

Donc, avec les données suivantes, il est possible d'obtenir différents résultats pertinents quant aux files d'attente créées aux passages à niveau :

λ : *taux d'arrivée des véhicules*

r : *temps de blocage du passage à niveau*

μ : *taux de départ des véhicules*

v : *nombre de voies*

Mentionnons que le taux d'arrivée des véhicules (λ) se trouve grâce au débit journalier moyen expliqué précédemment à la section Débit de véhicules, le temps de blocage du passage à niveau (r) a déjà été calculé à la section Temps de blocage aux passages à niveau et le taux de départ des véhicules (μ) est une donnée constante (dans notre cas) de 1 900 véhicules/heure calculés par le *Transportation Research Board* (2000).

Tableau 3-2 Équations utilisées pour le calcul des files d'attente

Données	Calcul
Période nécessaire pour dissiper la file d'attente (f)	$\frac{\frac{\lambda * r}{\mu - \lambda}}{v}$
Délai total des véhicules (d)	$\frac{\lambda \cdot r}{2} * (r + f)$
Délai moyen par véhicule (d_m)	$\frac{r}{2}$
Nombre maximal de voitures dans la file (l)	$\lambda * r$
Délai total d'un cycle (d_t)	$r + f$
Nombre de véhicules subissant un délai (n)	$\lambda * d_t$

Les cyclistes et les piétons n'ont pas été inclus dans cette démarche, mais les calculs resteraient sensiblement les mêmes. En fait, le temps d'attente resterait le même et la période de dissipation de la file d'attente serait négligeable. Il suffit alors d'utiliser la formule (l) en utilisant le taux d'arrivée des cyclistes ou des piétons pour connaître le nombre de personnes affectées.

Avec ces résultats, il est possible d'analyser les répercussions du blocage d'un passage à niveau. Le choix de construire un viaduc devient plus clair en observant les délais qu'il pourrait être possible de sauver pour un certain nombre de personnes. Un viaduc éliminerait un passage à niveau et permettrait une connexion dans un secteur à un autre malgré le passage d'un train. Il y a bien sûr plusieurs autres facteurs à prendre en compte comme la topographie du terrain, les coûts du projet, les impacts sur le bruit, l'environnement et la communauté. Bref, en classant les différents passages à niveaux d'une région analysée en ordre décroissant du nombre de véhicules subissant un délai, cela permet de se concentrer aux endroits les plus pertinents d'avoir un impact sur le trafic routier.

Il faut également considérer l'emplacement des feux de circulation. En fait, selon la longueur d'une file d'attente, une intersection pourrait être perturbée par le passage d'un train. Pour trouver la longueur maximale d'une file d'attente, il faut utiliser la formule suivante :

$$\text{Longueur maximale d'une file d'attente par voie} = \frac{l * 6}{v} \quad (10)$$

Notons que l'on considère qu'un véhicule équivaut en moyenne à 6 mètres étant donné la distance laissée entre deux et la présence possible de camions de marchandises. Bref, si le nombre maximal de voitures par voie dépasse la distance du feu de circulation le plus près, de nouvelles considérations devront être étudiées.

En prenant compte le nombre de voies d'une route, on constate que ce facteur joue sur le temps de dissipation de la file d'attente. Effectivement, le temps de dissipation d'une file d'attente d'une route à trois voies prendra moins de temps qu'une route à deux voies, car les files seront plus petites. Par conséquent, pour un même temps de blocage et un même taux d'arrivée, le délai total d'un cycle de blocage d'un passage à niveau différera selon le nombre de voies présentes. Donc, plus il y a de voies, plus le délai total diminuera.

Également, il est important de considérer la configuration des voies lors de l'analyse des conséquences des files d'attente. En fait, le blocage d'un passage à niveau peut venir nuire à des voitures ne voulant même pas traverser la voie ferrée. La figure Figure 3-8 montre bien le désagrément lorsque des voitures venant de l'est souhaitent tourner à droite et bloquent les voitures voulant continuer tout droit. Sur cette même intersection, les voitures venant de l'ouest ne sont pas affectées par le blocage du passage à niveau étant donné la voie prioritaire pour les virages à gauche.

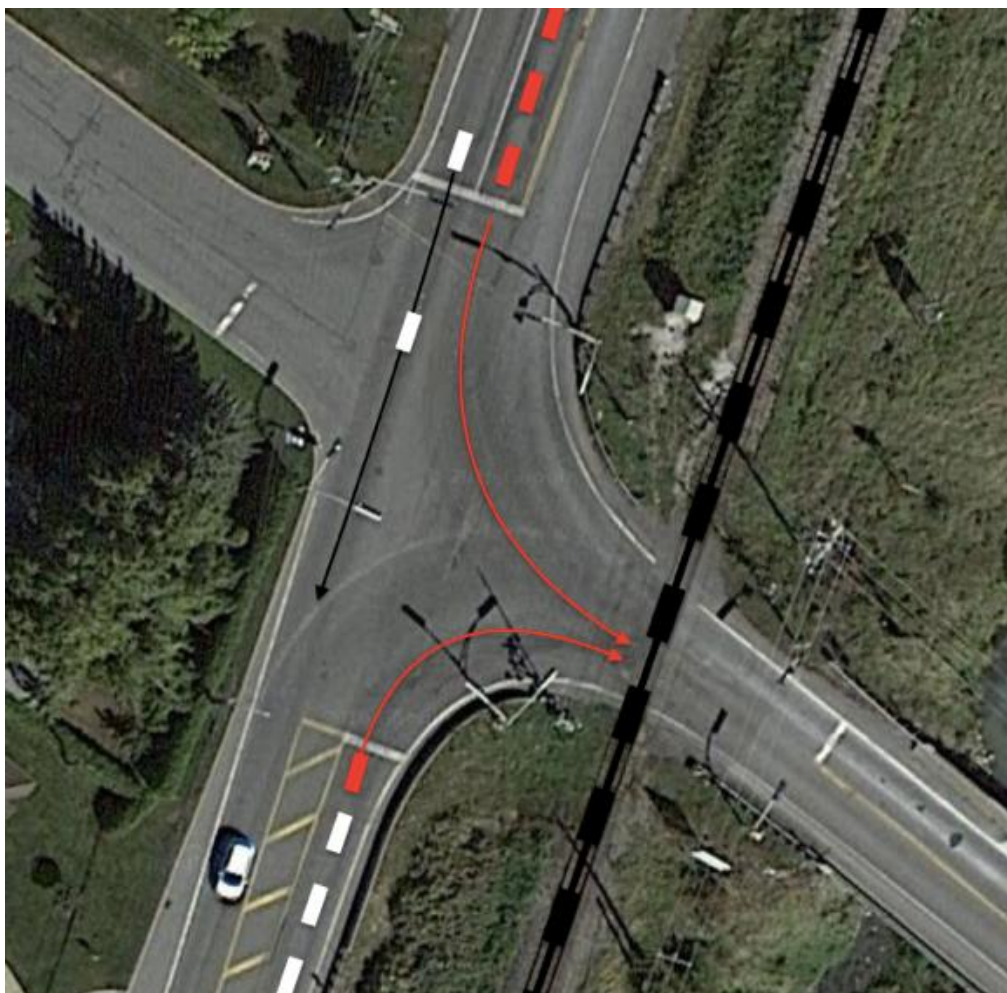


Figure 3-8 Conséquences de la configuration des voies sur les files d'attente

Bref, contrairement aux impacts sur les services d'urgence qui seront discutés à la section suivante, le temps d'attente des véhicules au passage à niveau constitue plutôt une nuisance qu'un danger pour la population.

3.3.2 Impacts sur la sécurité

Transport de matières dangereuses

Il y a en général peu de matières dangereuses transportées par conteneur maritime. Lorsque c'est le cas, les matières sont confinées dans des emballages spéciaux protégés par les murs du conteneur. S'il y a lieu, les quelques wagons portant des conteneurs de matières dangereuses seront isolés et séparés par plusieurs autres wagons de conteneurs « normaux ». Rappelons que certaines des matières les plus à risque, tels que les explosifs, sont déjà interdites sur les voies ferrées au

Canada. Également, au Canada, les compagnies ferroviaires comme le CN et le CP se doivent de divulguer le contenu global de leurs trains pour l'année à la demande des municipalités. Il est ainsi possible de connaître le type et la quantité de matières dangereuses qui circulent sur la voie ferrée en question.

Services d'urgence

La sécurité des citoyens est un élément à considérer en relation avec le trafic ferroviaire. En effet, le passage d'un train peut causer le blocage des services d'urgence aux passages à niveau. En fait, comme vu précédemment, le passage d'un train peut bloquer une route pendant plusieurs minutes. Le temps de non-accessibilité des services d'urgence équivaut donc au temps de blocage du passage à niveau puisque l'on considère que les camions auront priorité sur les voitures et pourront aller en avant de la file d'attente. En outre, il est possible que tous les passages à niveau d'une municipalité soient bloqués en même temps avec un train pouvant aller jusqu'à 4 200 mètres. Par conséquent, il est impossible pour les services d'urgence de se rendre de l'autre côté de la voie ferrée. Ce temps d'attente pourrait être critique dans certaines situations et devrait être pris en compte dans le plan des mesures d'urgence de la ville.

Malgré tout, les municipalités doivent atteindre leurs critères de temps de réponse et ce, qu'il y ait passage d'un train ou non. Par conséquent, face aux passages de trains, des modifications au schéma de couverture de risques peuvent être nécessaires pour planifier tous les éléments de l'intervention en incendie et ainsi limiter les conséquences lorsqu'un feu se déclare. À noter que les temps de réponse demandés sont souvent plus élevés dans les régions rurales qu'urbaines. Bref, la cohésion entre les services d'urgence et la compagnie ferroviaire est importante. Par exemple, si les services d'urgence étaient mis au courant de l'horaire des passages de trains, ceux-ci pourraient s'ajuster en conséquence et non pas le réaliser à la traverse d'un passage à niveau. Cela éviterait alors un déplacement inutile et une perte de temps cruciale dans l'intervention. Ceci dit, rappelons que la réglementation fédérale oblige le transporteur ferroviaire à tenir compte des interventions d'urgences lors du blocage des passages à niveau. Dans un tel cas, un blocage représente l'arrêt complet d'un train à un passage à niveau. C'est un événement plus rare où le train peut être séparé en deux pour laisser passer les services d'urgence.

Contrairement aux policiers et aux ambulanciers, les pompiers ne sont pas dispersés sur le réseau routier, mais sont plutôt stationnés à la caserne. Par conséquent, si la caserne se situe du mauvais

côté de la voie ferrée, il s'avérera impossible pour les camions de se rendre sur les lieux de l'incendie lors du passage d'un train. Notons qu'il est également possible pour les municipalités de faire appel aux municipalités voisines se trouvant de l'autre côté de la voie ferrée. Par contre, les temps de déplacement seront plus élevés et la communication devra être rapide et efficace.

À l'aide du logiciel QGIS et de la localisation des adresses civiques, il est possible d'établir le nombre de logements à risque lors du passage d'un train selon l'emplacement de la caserne. En délimitant la zone jugée risquée par une couche polygone, nous pouvons utiliser l'outil d'analyse *Points dans un polygone* pour connaître le nombre d'adresses situées dans une zone inatteignable par les services d'incendie lors du passage d'un train. Il faut ensuite calculer la proportion par rapport au total de logements pour bien comprendre le niveau de risque de la municipalité.

$$\% \text{ de logements en zone risquée} = \frac{\text{Nombre de logements en zone risquée}}{\text{Nombre de logement total}} * 100 \quad (11)$$

Le même exercice peut être effectué en géolocalisant l'historique des sorties des pompiers des dernières années afin d'établir le pourcentage de sorties dans la zone risquée. En fait, même si 50 % des adresses se situent dans une zone risquée, il se peut que seulement 25 % des sorties des pompiers se trouvent dans cette zone. Cela peut s'expliquer par le fait que les nouveaux quartiers sont souvent moins touchés par les incendies que les quartiers ayant des maisons plus âgées et donc plus vulnérables aux incendies. Bref, on peut calculer le pourcentage des sorties en zone risquée.

$$\% \text{ de sorties en zone risquée} = \frac{\text{Nombre de sorties en zone risquée}}{\text{Nombre de sorties total}} * 100 \quad (12)$$

3.3.3 Impacts sur le niveau de bruit

Le transport de marchandises par train cause deux différentes sources de bruits : le bruit causé par le triage ferroviaire et le bruit causé par le passage des trains. Pour isoler l'impact additionnel associé au nouveau pôle logistique, il faut bien comprendre le comportement du bruit. En fait, puisque les décibels sont calculés sur une échelle logarithmique, chaque doublement du niveau de bruit correspond à une augmentation de 3 dB. Par conséquent, les décibels ne peuvent pas s'additionner ou se soustraire facilement. Par exemple, 75 dB + 75 dB ne donneront pas 150 dB, mais bien 78 dB en suivant la formule suivante :

$$10 \times \log \left(10^{\frac{n_1}{10}} + 10^{\frac{n_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{n_n}{10}} \right) \quad (13)$$

Bref, le niveau de bruit est principalement tributaire des activités du pôle logistique, mais il dépendra également de l'environnement physique. Le niveau acoustique équivalent (L_{eq}) décrit l'exposition cumulative d'une personne au bruit durant une certaine période. Cette mesure est utilisée pour les niveaux de bruit constant en provenance par exemple des voies ferrées ou des autoroutes.

Activités du pôle

Premièrement, le bruit du triage ferroviaire sera créé lors des activités d'opération du nouveau terminal et augmentera nécessairement le niveau de bruit du secteur. L'analyse de la direction des vents dominants et des secteurs urbains à proximité est primordiale dans ce cas. Cette source de bruit est plus fréquente et de plus longue durée que les passages de trains. Elle provient principalement du chargement/déchargement des conteneurs, des locomotives dont le moteur est au ralenti, des manœuvres liées aux wagons, du grincement de roues avec le rail, etc.

Passages des trains

À l'aide de la *Méthodologie de mesure et de présentation d'un rapport sur le bruit ferroviaire* de l'Office des Transports du Canada, il est possible d'obtenir une bonne estimation du niveau sonore selon l'hypothèse que les rails sont soudés en continu et que les voies ferrées sont en bon état. On peut également ajouter que les calculs sont basés sur les hypothèses suivantes : la hauteur du récepteur est de 1,5 mètre au-dessus du sol et la locomotive fonctionne au moteur diesel.

Les facteurs utilisés ont tous été calculés plus tôt et représentent dans notre cas des prévisions du futur pôle logistique. Bref, la méthode considère plusieurs facteurs.

- Vitesse et longueur du train

Plus la vitesse et la longueur d'un train sont importantes, plus celui-ci émettra un niveau sonore élevé. Effectivement, un train plus long devra utiliser plus de locomotives et émettra du bruit durant une plus longue période de temps.

- Heure de passage

Étant donné un bruit ambiant moins élevé durant la nuit, le niveau sonore perçu du passage d'un train sera plus élevé. Par conséquent, un passage de train durant la nuit est plus important face à la sensibilité accrue de la population à cette période.

- Distance entre le récepteur et la voie ferrée

Plus un récepteur se situe loin de la source de bruit, plus l'intensité sonore diminuera. En effet, l'effet d'absorption du bruit par le sol à plus de 100 mètres et la disposition des immeubles ont pour impact de diminuer les ondes sonores. En fait, le niveau sonore baisse d'environ 3 dB chaque fois que la distance par rapport à la source double. Bien sûr, la dispersion du bruit dépend fortement des bâtiments jouant le rôle d'écran sonore.

- Emplacement du récepteur

Les récepteurs sensibles au bruit peuvent se trouver dans des espaces intérieurs ou extérieurs (résidences, écoles, parcs, hôpitaux, garderies, cimetières, etc.). Les niveaux de pression acoustique à l'intérieur et à l'extérieur d'une bâtisse seront donc différents. Selon *l'Organisation mondiale de la Santé* (OMS) et le *US Environmental Protection Agency* (US EPA), lorsque l'on se situe à l'intérieur, la diminution du niveau sonore est de 15 dB si les fenêtres sont partiellement ouvertes et de 27 dB si elles sont fermées.

- Zone de sifflement

Un train sifflera à des fins de sécurité pour avertir les automobilistes, les cyclistes ou les piétons qu'il arrive. L'Office des Transports du Canada offre également les niveaux sonores de référence des sifflements de train. Ces références doivent par la suite être additionnées au niveau sonore normal du train calculé précédemment. Les niveaux sonores s'additionnent avec la formule mentionnée plus tôt.

Précisons que selon le *Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada*,

« Aux passages à niveau publics : Là où il est nécessaire, un poteau ou panneau indicateur commandant de siffler sera situé à $\frac{1}{4}$ de mille (400 mètres) avant

chaque passage à niveau public. Le signal par sifflet doit être actionné par les mouvements circulant :

- À plus de 44 mi/h, au panneau indicateur commandant de siffler;
- à 44 mi/h ou moins, afin de donner un délai d'avertissement de 20 secondes avant d'engager le passage à niveau.

Le signal par sifflet doit être prolongé ou répété jusqu'à ce que le passage à niveau soit entièrement occupé. »

Par conséquent, il faut considérer qu'un train devrait siffler de façon prolongée ou intermittente au moins 20 secondes pour chaque passage à niveau qu'il croisera. Cependant, grâce à l'article 23.1 de la *Loi sur la sécurité ferroviaire*, il est possible d'abolir le sifflet d'avertissement pour un passage à niveau sous réserve que celui-ci comporte un système d'avertissement qui convient à la vitesse de référence sur la voie ferrée et à l'utilisation que font les véhicules et les piétons de ce passage (Transport Canada, 2016).

Par exemple, un train de 2000 mètres de passage à 15 h à une vitesse de 60 km/h provoquera un niveau sonore $L_{eq}(16h)$ autour de 42 dB(A) pour une personne située à 300 mètres de la voie ferrée. Pour bien comprendre cette valeur, il faut savoir que la lettre A suivant l'abréviation dB(A) signifie tout simplement que les basses fréquences non perçues par l'être humain ont été éliminées. Cette unité de mesure est souvent utilisée dans les calculs d'exposition sonore lorsqu'il faut prendre en compte la sensibilité de l'ouïe des êtres humains. En fait, le niveau sonore équivalent (L_{eq}) est la mesure la plus courante pour les événements de bruits non impulsifs comme le passage d'un train. Elle représente l'exposition cumulative d'une personne (durée/nombre d'événements) durant une certaine période de temps.

En combinant l'analyse du niveau de bruit du passage d'un train et la caractérisation générale des environs de la voie ferrée, nous pouvons calculer le nombre de personnes touchées par un certain niveau de bruit. Avec la formule du nombre d'habitants touchés discutée plus tôt, on peut maintenant savoir quel pourcentage de la population se situe dans un endroit critique où les niveaux sonores recommandés sont dépassés. La situation la plus probable de dépasser les critères est le

passage d'un train durant la nuit pour les gens se situant à moins de 100 mètres de la voie ferrée et qui ont laissé leurs fenêtres partiellement ouvertes.

Nombre de personnes affectées

Une fois que l'on connaît le niveau de bruit des activités du pôle selon la distance, il suffit de les combiner aux informations acquises à la section 3.1.2 (caractérisation générale des environs de la voie ferrée et des axes routiers).

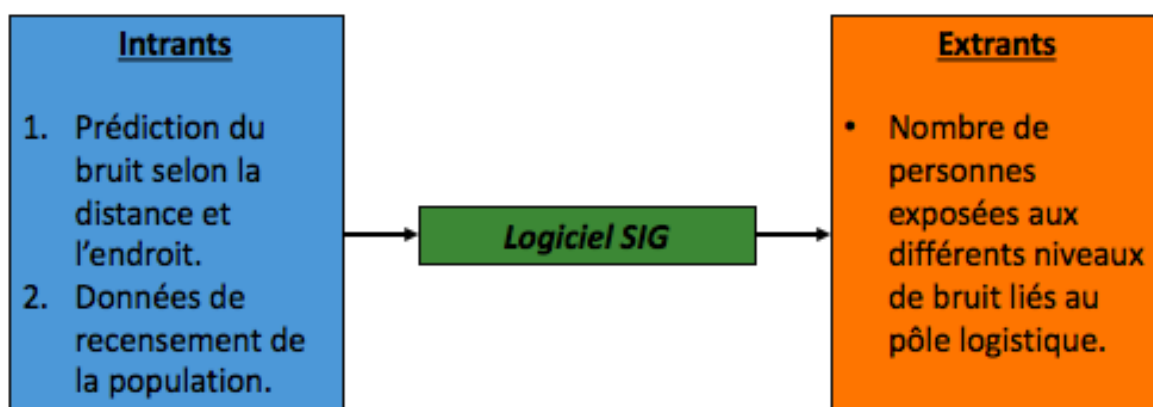


Figure 3-9 Calcul du nombre de personnes affectées par le bruit

Ainsi, à l'aide d'un système d'intégration géographique, nous obtiendrons une meilleure idée de la population exposée par le bruit des activités du nouveau pôle logistique. Par la suite, à l'aide des informations sur le pourcentage de personnes dérangées présentées au Tableau 3-3 et les critères de bruit acceptables présentés au Tableau 2-2, nous obtenons le nombre de personnes possiblement affectées par le bruit. Cette information est critique quant à l'acceptabilité sociale et permet de mieux juger la proportion des dérangements présents aux abords des routes, des voies ferrées et du pôle. En se référant aux comportements de la population à différents niveaux de bruit, il est possible de connaître le pourcentage de personnes dérangées.

Tableau 3-3 Pourcentage de personnes dérangées selon le niveau de bruit par mode de transport (Yano et al., 2007)

	% personnes dérangées	
dB(A)	Train	Camion
45	5%	0%
50	8%	0%
55	12%	2%
60	20%	5%
65	32%	10%
70	47%	20%
75	65%	40%

Notons qu'il existe une certaine variabilité d'une étude à l'autre concernant le pourcentage affecté et les résultats doivent donc être vu comme une approximation. Effectivement, le comportement des gens face au bruit est difficile à évaluer et comporte toujours une certaine inexactitude.

Donc pour trouver le nombre de personnes dérangées au niveau de bruit i selon le mode de transport j (N_{ij}),

$$N_{ij} = x_i * p_{ij} \quad (14)$$

où, x_i : population à la distance du niveau de bruit i

p_{ij} : % personnes dérangées au niveau de bruit i par le mode de transport j

3.3.4 Impacts sur les vibrations

Le passage de convois ferroviaires peut causer des vibrations dans l'environnement immédiat de la voie ferroviaire. Ces vibrations sont ressenties davantage à l'intérieur des bâtiments et dépendent de plusieurs facteurs, dont le poids du convoi ferroviaire, l'état de la voie ferrée et les conditions géologiques du sol environnant.

Le poids des trains à conteneur est plus faible que celui des trains contenant des produits en vrac, souvent plus denses. Ainsi, les vibrations causées par les trains à conteneur ne seront pas supérieures à celles ressenties au passage des trains de produits en vrac circulant sur une même voie ferrée. Il faut également s'informer sur la réfection de la voie ferrée dans la région d'analyse.

Il est plus difficile de prévoir les vibrations, car il n'existe aucune méthode universelle reconnue.

3.4 Outil Excel interactif

À l'aide des formules mentionnées plus haut et du système d'intégration géographique QGIS, un outil d'aide à la décision a été bâti sur Excel. Cet outil permet aux municipalités de tester différents scénarios selon les prédictions calculées par rapport à l'implantation d'un pôle logistique. L'outil a été développé grâce à la connexion de tableaux de données à l'aide des fonctions INDEX, RECHERCHEV et ÉQUIV. Selon les intrants choisis par l'utilisateur, le programme utilise les formules et les tableaux afin d'obtenir des résultats concernant les blocages aux passages à niveau et le nombre de personnes affectées par le bruit. Cet outil permet d'analyser chaque scénario séparément afin de pouvoir les interpréter.

Temps de passage et trafic généré

Il est possible de trouver différents niveaux d'impact concernant la circulation routière aux passages à niveau rapidement. Effectivement, puisque les prédictions changent au fur et à mesure qu'un projet de pôle logistique avance, il devient intéressant de pouvoir connaître les résultats de différentes prédictions. Voici les différents intrants gérés par l'outil Excel afin d'obtenir des résultats.

Tableau 3-4 Tableau des intrants de l'outil Excel interactif pour les résultats au passage à niveau

DONNÉES			COMMENTAIRES
Nombre de trains/jour	1	trains/jour	Prédiction de la fréquence d'arrivée et de départ des trains (1 train = 2 passages)
Temps d'annonce d'approche	60	secondes	Le temps d'annonce est de minimum 20 secondes, cependant le temps calculé sur le terrain est de 60 secondes.
Temps après passage du train	8	secondes	Le temps après passage du train est assez négligeable et se situe souvent entre 6 et 12 secondes.
Longueur du train	2000	mètres	La longueur des trains de marchandises se situe souvent entre 2 500 et 4 200 mètres de long.
Vitesse du train	15	kilomètres/heure	La vitesse maximale des trains de marchandises est normalement de 40 mph (64 km/h) avec certaines zones de
Débit journalier moyen	19600	véhicules	Les données des taux d'arrivée des véhicules sont rares et doivent souvent être estimées.
Heure	7:00-8:00		Les heures de pointes se situent au départ et au retour des travailleurs.
Jour	Semaine		La répartition des débits de véhicules est différente entre la semaine et la fin de semaine puisque moins de gens travaillent.
Taux de départ des véhicules	32	véhicules/minute	Le taux de départ de véhicules habituel est 32 véhicules/minute selon le Transportation Research Board.
Nombre de voies	2	voies	Nombre de voies pour la route

Le programme Excel assigne chaque valeur entrée par l'utilisateur aux équations du Tableau 3-2. Les commentaires pour chaque donnée aident l'utilisateur à bien comprendre la valeur entrée. Le fichier a été construit en outre grâce à la fonction EQUIV afin de rechercher un élément spécifique dans une plage de cellules. Ainsi, la fonction renvoie la position relative de l'élément dans la plage et permet de faire des calculs sur cette valeur. Par exemple, lorsque l'utilisateur choisit le passage d'un train un jour de semaine entre 6 h et 7 h, la fonction obtient la valeur de la colonne 1 rangée 7 (5,49 %) dans le Tableau 3-5. Cette valeur représente le pourcentage de DJMA à cet instant et permet donc de connaître le débit de véhicules lors du passage du train au passage à niveau. La valeur est par la suite utilisée dans les équations de file d'attente du Tableau 3-2.

Tableau 3-5 Pourcentage du DJMA selon l'heure et le jour de la semaine

Heures	Semaine	Fin de semaine
24:00-1:00	0,59%	1,67%
1:00-2:00	0,35%	0,97%
2:00-3:00	0,20%	0,60%
3:00-4:00	0,26%	0,50%
4:00-5:00	0,52%	0,38%
5:00-6:00	2,54%	0,93%
6:00-7:00	5,49%	1,64%
7:00-8:00	9,43%	2,65%
8:00-9:00	7,79%	3,87%
9:00-10:00	4,90%	5,37%
10:00-11:00	4,69%	6,58%
11:00-12:00	5,01%	7,23%
12:00-13:00	5,25%	7,43%
13:00-14:00	5,33%	8,11%
14:00-15:00	5,55%	7,88%
15:00-16:00	6,54%	7,79%
16:00-17:00	8,42%	8,03%
17:00-18:00	7,92%	7,31%
18:00-19:00	5,88%	5,47%
19:00-20:00	4,30%	4,25%
20:00-21:00	3,32%	3,62%
21:00-22:00	2,67%	3,13%
22:00-23:00	1,81%	2,60%
23:00-24:00	1,19%	1,95%

Les résultats obtenus doivent ensuite être convertis sous le format 00 minute et 00 seconde.

Nombre de personnes affectées par le niveau de bruit

Par ailleurs, l'outil Excel permet de connaître le nombre de personnes affectées par un certain niveau de bruit, à une certaine distance, dans une région donnée grâce aux fonctions RECHERCHEV, ÉQUIV et INDEX. Ces fonctions utilisent chaque tableau expliqué plus bas afin d'obtenir le nombre de personnes dérangées par le bruit selon le niveau sonore du passage d'un train. Voici le tableau des intrants de l'outil Excel interactif.

Tableau 3-6 Tableau des intrants de l'outil Excel interactif pour les résultats de niveau de bruit

DONNÉES			COMMENTAIRES
Niveau sonore	100	dB(A)	Niveau de bruit en provenance du train
Distance de la voie ferrée	100	mètres	Distance entre le récepteur et la voie ferrée
Ville	Municipalité C		Choix de la municipalité à évaluer

Tout d'abord, selon la distance et le niveau sonore choisis par l'utilisateur, des ajustements sont effectués pour connaître le niveau sonore à chacune des différentes distances entre 30 et 500 mètres selon les valeurs d'ajustement du Tableau 3-7. Les valeurs proviennent de *l'Office des Transports du Canada* (2011) qui stipule que le niveau sonore se base sur la réduction d'une source linéaire infiniment longue. Ainsi, le niveau sonore baisse de 3 dB lorsque l'on double la distance par rapport à la source. Lorsque la distance atteint plus de 100 mètres, les valeurs incluent l'effet d'absorption du sol. Le tableau suivant présente donc les facteurs correctifs pour la distance.

Tableau 3-7 Facteur correctif selon la distance (Office des Transports du Canada, 2011)

Distance (m)	Ajustement (dB)
30	0
40	-1
50	-2
60	-3
70	-4
80	-5
90	-6
100	-7
150	-10
200	-12
250	-13
300	-14
350	-15
400	-16
450	-16
500	-17

Par la suite, chaque niveau sonore est associé à un taux de dérangement (Tableau 3-8). Ces valeurs représentent le pourcentage de personnes affectées par un certain niveau de bruit. Effectivement, ce n'est pas nécessairement tout le monde qui est affecté par le passage d'un train et c'est pourquoi nous devons utiliser ces pourcentages. Puisque les valeurs diffèrent selon le jour et la nuit, le programme prend en compte l'heure du passage du train afin d'utiliser le bon pourcentage.

Tableau 3-8 Pourcentage de personnes gênées par un certain niveau de bruit durant le jour ou le nuit

dBA	% de personnes dérangées	
	Nuit	Jour
40	2,00%	2,00%
41	2,10%	2,10%
42	2,20%	2,20%
43	2,40%	2,30%
44	2,65%	2,40%
45	2,85%	2,50%
46	3,10%	2,70%
47	3,35%	2,90%
48	3,65%	3,30%
49	3,80%	3,60%
50	4,10%	4,00%
51	4,50%	4,40%
52	5,00%	4,90%
53	5,50%	5,40%
54	6,00%	6,00%
55	6,50%	6,60%
56	7,10%	7,20%
57	7,70%	7,90%
58	8,30%	8,60%
59	8,90%	9,30%
60	9,50%	10,00%
61	10,10%	10,80%
62	10,80%	11,60%
63	11,50%	12,50%
64	12,20%	13,50%
65	12,90%	14,80%
66	13,70%	15,90%
67	14,50%	17,00%
68	15,40%	18,50%
69	16,40%	20,00%
70	17,50%	21,00%
71	18,60%	22,00%
72	19,70%	23,00%

Ainsi, un pourcentage est associé à chaque distance selon son niveau de bruit et ensuite multiplié par le nombre de personnes se trouvant à cette même distance. En fait, grâce au système d'intégration géographique, nous connaissons le nombre de bâtiments à une distance donnée dans une municipalité. Finalement, en utilisant la méthodologie présentée à la Figure 3-9, il est possible de connaître le nombre de personnes affectées.

CHAPITRE 4 EXPÉRIMENTATION ET RÉSULTATS

En utilisant la méthodologie présentée et l'outil Excel interactif, il est possible d'évaluer différents enjeux sur la population. Comme les données sont souvent manquantes ou incertaines, l'analyse de scénarios est le meilleur moyen d'obtenir l'illustration d'une région en particulier. Effectivement, plusieurs paramètres entre en ligne de compte et leur variation engendre de nombreux scénarios. Il est donc important de bien choisir les paramètres (voir Tableau 3-4) selon le contexte d'une région puisqu'il est souvent impossible de faire une énumération exhaustive de tous les scénarios. En effet, si nous utilisons seulement 10 vitesses et 10 longueurs différentes de trains, nous pouvons obtenir 100 résultats différents de temps d'attente. En ajoutant les autres paramètres et leur étendue respective, le nombre de scénarios possibles devient donc immense.

Il est alors important de bien analyser le contexte du pôle logistique afin de pouvoir centrer l'analyse sur les scénarios les plus probables. En fait, l'analyse par ordinateur permet de pondérer les résultats et d'établir une meilleure prévision des impacts sans pour autant obtenir une analyse complète de la situation. C'est ce que l'on présente dans le cas suivant.

Étude de cas

La région de Contrecoeur a été identifiée comme site potentiel pour l'établissement d'un pôle logistique de grande envergure, comprenant entre autres une partie des terrains vacants du port de Montréal ainsi que des terrains avoisinants. Le site sera relié à la voie ferroviaire du Canadien National et au réseau routier de Transports Québec. Bref, ce pôle logistique sera caractérisé par une concentration des activités du transport dans une région restreinte et une analyse d'impact est donc pertinente. Les résultats suivants s'inspirent donc de ce cas réel.

4.1 Sources de données

Données	Sources
Prévisions en matière de volumes, marchandises et infrastructures dans un contexte de pôle logistique mature (port et installation du pôle logistique)	- Description d'un projet désigné (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2016) - Présentation de projet de la part de l'entreprise logistique
Données d'utilisation actuelle de la voie ferrée (horaire des trains, fréquences, volumes, nombre de wagons) pour une période typique (année) ;	- Compagnie ferroviaire (CN) - Industries présentes - Opinion de la population
Prévisions d'utilisation de cette voie ferrée dans un contexte de pôle logistique mature (horaire, limite de vitesse, état de la voie ferrée, etc.)	- Description d'un projet désigné (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2016) - Présentation de projet de la part de l'entreprise logistique - Compagnie ferroviaire (CN)
Données de circulation sur les principaux axes routiers (DJMA), classifiés avec volume de camions, ainsi que les projections ;	- Atlas des transports (Ministère des Transports, de la Mobilité Durable et de l'Électrification des Transports du Québec, 2014).
Données de systèmes d'information géographique disponibles pour le territoire (fond de carte, réseau de voirie, limites géographiques, adresses civiques, réseau routier et ferroviaire, etc.)	- Département géomatique des MRC - Adresses Québec (Gouvernement du Québec, 2017) - GéoGratis (Ressources naturelles Canada, 2016) - Données ouvertes du gouvernement du Canada - Schéma de couverture de risques en sécurité incendie
Données de recensement	- Recensement 2011 et 2006 (Données statistiques et géographiques, 2012)
Géolocalisation des sorties des camions de pompiers	- Registre des appels incendies - Schéma de couverture de risques en sécurité incendie

4.2 Situation actuelle et future

Tout d’abord, il est important de mentionner que les prédictions sont basées sur des hypothèses par rapport à la demande du marché et aux clients potentiels. Les données peuvent donc varier selon l’avancement du projet. Effectivement, les futurs clients qui utiliseront le pôle logistique sont incertains et dépendent de l’allure du marché. Chaque situation future peut donc être corrigée au fur et à mesure que le projet avance. Le tableau suivant montre bien l’évolution d’un projet de pôle logistique à moyen et long-terme.

Tableau 4-1 Comparaison des différentes situations dans l'avancement d'un projet de pôle logistique

	Nombre de trains	Nombre de passages	Longueur (m)	EVP annuel
2016	2	4	1 800 – 2 200	100 000
2022	3	6	2 500 – 4 200	500 000
2050	4	8	2 500 – 4 200	1 150 000

Il faut également considérer une période de croissance graduelle à partir du début des opérations pour permettre au terminal de bien intégrer ses opérations. Effectivement, il peut être difficile de gérer 500 000 EVP dès la première année d’opération.

4.3 Caractérisation du territoire

À l’aide des données acquises, nous pouvons résumer les informations concernant le territoire d’analyse dans le tableau suivant.

Tableau 4-2 Sommaire du territoire analysé

	Municipalité A	Municipalité B	Municipalité C	Municipalité D
Population	6 252	5 692	20 994	40 753
Superficie (km²)	61,19	73,27	92,53	70,81
Densité (habitants/km²)	102,2	77,7	226,9	575,5
Foyers	2 979	2 406	8 001	16 521
Passages à niveau	8	2	14	26
Passages à niveau critiques	0	1	5	4

On remarque que les municipalités C et D sont beaucoup plus populeuses. Par le fait même, beaucoup plus de passages à niveau y sont présents. Nous avons géolocalisé chacune des adresses civiques afin de calculer leur distance par rapport à la voie ferrée principale. Chaque municipalité le long de la voie ferrée peut être analysée séparément afin de bien connaître l'impact pour chacun. La Figure 4-1 montre la population habitant à 250, 500, 750 et 1000 mètres de la voie ferrée.

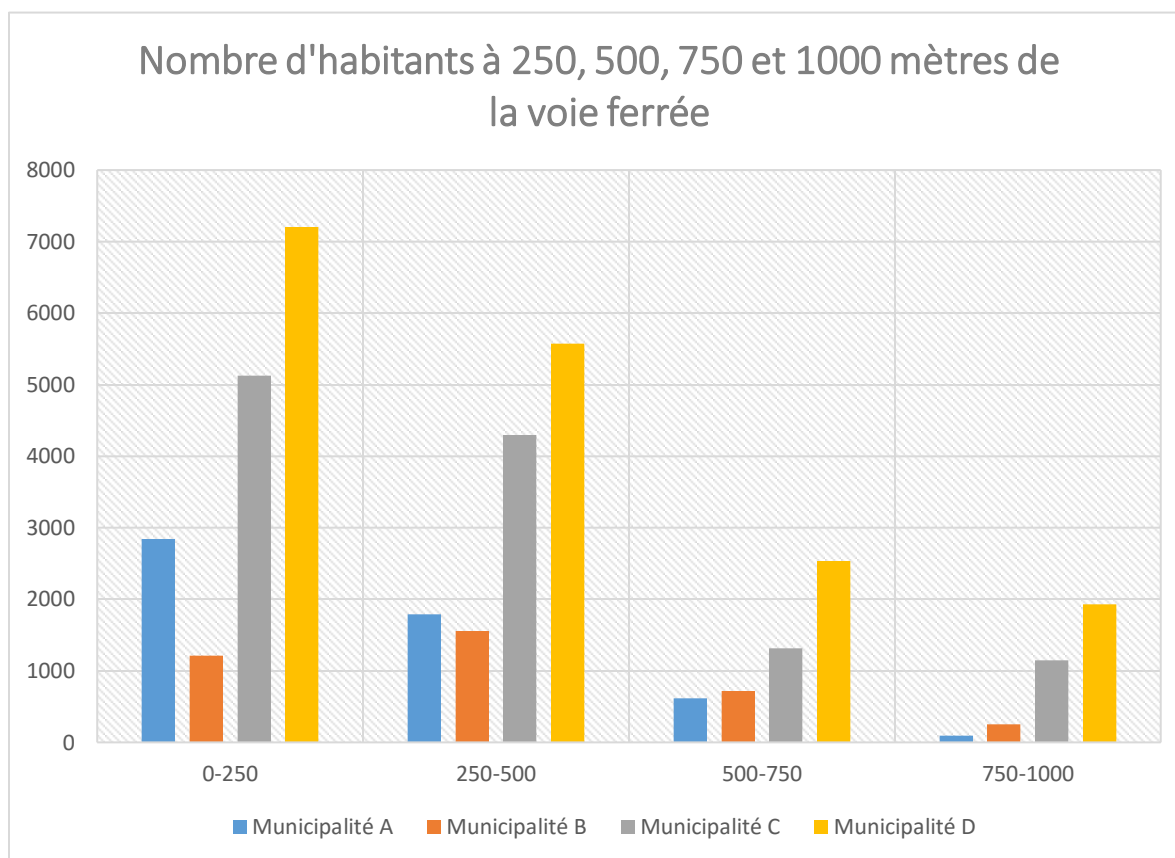


Figure 4-1 Population habitant à 250, 500, 750 et 1000 mètres de la voie ferrée

On remarque qu'il y a beaucoup plus d'habitants près de la voie ferrée dans la municipalité D. Cependant, cela peut seulement provenir du fait que la municipalité est plus peuplée. C'est pourquoi il est intéressant d'analyser la proportionnalité de la population dans la figure suivante. À noter que les Figure 4-1 et Figure 4-2 n'ont pas la même échelle sur la variable indépendante.

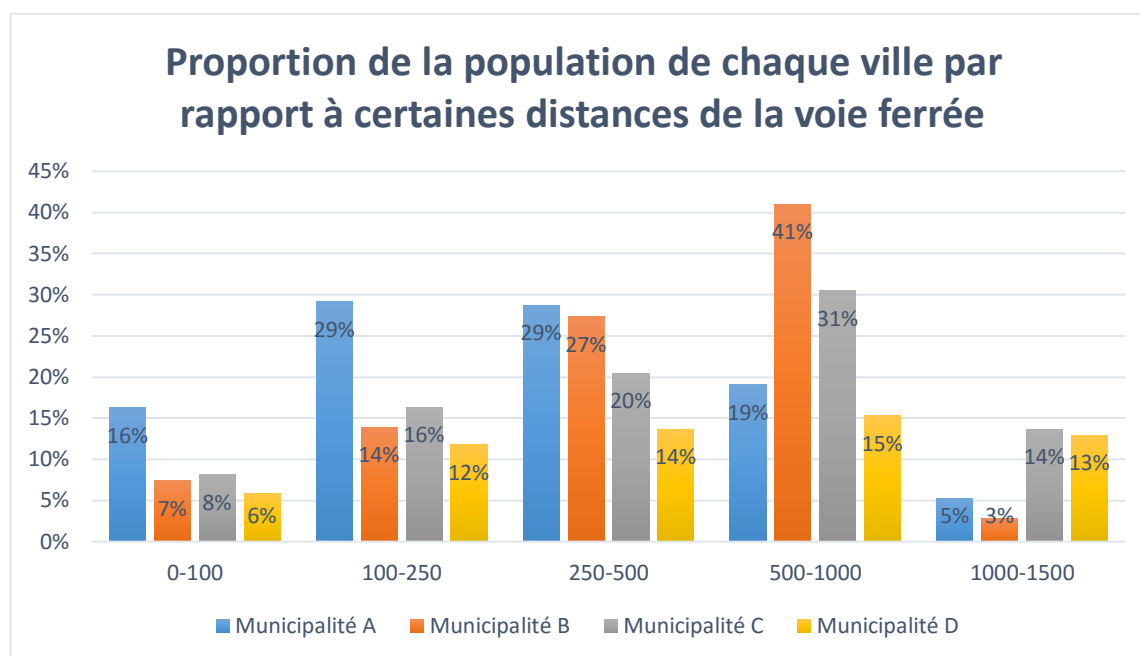


Figure 4-2 Proportion de population habitant aux abords de la voie ferrée

Effectivement, on remarque maintenant qu'en général, les habitants de la municipalité A se situent plus près de la voie ferrée que les habitants de la municipalité D.

Grâce à la carte de densité, il est possible d'identifier les quartiers plus peuplés. Dans la municipalité A, on remarque que la densité de population converge vers le croisement des deux routes principales (centre-ville). En s'éloignant du centre, la population devient alors moins dense. Voici la carte des concentrations de population pour la municipalité A. Les cartes de densité de population des autres municipalités se trouvent en annexe.



Figure 4-3 Densité de population de la municipalité A

Afin de bien visualiser les distances dans une ville, une gradation de couleur le long de la voie ferrée identifie les adresses et points d'intérêt à risque. Il est possible de connaître la position des passages à niveau et de comprendre les connexions entre le réseau routier et le réseau ferroviaire de la municipalité B. Les cartes de situation du corridor ferroviaire des autres municipalités se trouvent en annexe.



<u>Légende</u>		
Écoles	Passages à niveau	Distances
Commerces et autres	FCSB	200m
Adresses civiques	FCS	250m
	Passif	500m
		1000m
		50m
		100m
		150m

Figure 4-4 Situation du corridor ferroviaire de la municipalité B

Une énumération des points d'intérêts principaux géolocalisés permet de classer les endroits à moins de 1000 mètres de la voie ferrée.

Tableau 4-3 Points d'intérêts de la municipalité B

Municipalité B	
Point d'intérêt	Distance (m)
CPE	70
Centre Communautaire	94
École	400

Par la suite, il est possible d'énumérer les principales caractéristiques touchant la municipalité B par rapport à l'activité ferroviaire.

Caractéristiques principales :

- Une seule école à 400 mètres de la voie ferrée ;
- Un seul passage à niveau dans la ville ;
- Les quartiers peuplés se situent d'un seul côté de la voie ferrée ;
- Une garderie se situe à moins de 100 mètres de la voie ferrée.

La municipalité B est assez petite et représente seulement une population d'environ 5 000 habitants. C'est un cas assez simple étant donné qu'il existe seulement un passage à niveau dans cette ville.

Cependant, lors d'analyse de population plus grande, d'autres caractéristiques pourraient sortir. La cartographie du corridor ferroviaire de la municipalité C se trouve en annexe et permet d'observer la complexité d'une région plus densément peuplée. Par conséquent, lorsqu'il y a beaucoup de points d'intérêts, il est possible de les résumer dans un tableau sommaire. À noter que seulement les points d'intérêts à moins de 150 mètres de la voie ferrée ont été considérés (sauf pour les écoles).

Tableau 4-4 Sommaire des points d'intérêts à moins de 150 mètres pour la municipalité C

<u>Municipalité C</u>					
Lieu (150 m et moins)		Distance (m)			
Type	Nombre	min	max	moyenne	Total
Commerce	12	10	110	56	670
Restauration	14	10	70	42	590
Services	5	30	150	110	550
Garderie	2	50	90	70	140
École (toutes distances)	9	60	1450	542	4880

Suite à l'analyse de la cartographie et du sommaire des points d'intérêts, voici les principales caractéristiques notées pour la municipalité C.

Caractéristiques principales :

- La voie ferrée longe principalement la route principale et c'est pourquoi beaucoup de commerces et de restaurants se situent à proximité du passage des trains ;
- École primaire à 60 mètres de la voie ferrée (400 élèves) ;
- La voie ferrée ne traverse qu'une seule fois la route principale sur tout le territoire et ce croisement se situe à la municipalité C ;
- Bibliothèque à moins de 150 mètres de la voie ferrée.

Il est également important de connaître les limites de vitesse des trains sur la voie ferrée analysée. Voici une carte montrant les différentes zones de limite de vitesse sur le territoire.

Tableau 4-5 Limites de vitesse des trains sur la voie ferrée étudiée



4.4 Impacts des trains sur la circulation routière

Les équations vues précédemment dans la méthodologie ont été intégrées dans un classeur Excel interactif qui est utilisé pour calculer les impacts temporels du passage des trains aux passages à niveau en fonction des paramètres spécifiés par l'utilisateur (horaire, type de passage à niveau, vitesse et longueur du train, flux de véhicules). En utilisant cet outil d'analyse, il est possible de calculer les impacts du passage des trains sur le trafic routier à différents passages à niveau. Voici un exemple de résultats au croisement d'une route à 2 voies à la municipalité C lors

du passage d'un train de 4 200 mètres de long allant à une vitesse de 64 km/h en pleine heure de pointe à 7h00 un matin de semaine.

Tableau 4-6 Résultats au passage à niveau d'une route principale dans la municipalité C

RÉSULTATS PASSAGE À NIVEAU			
Temps total de blocage au passage à niveau	5	minutes	4 secondes
Temps de dissipation	2	minutes	21 secondes
Nombre de véhicules subissant un délai	114	véhicules	
Délai moyen par véhicule	2	minutes	32 secondes
Nombre maximal de voitures/voie	39	véhicules	
Longueur maximale d'une file	231	mètres	
Délai total d'un cycle	7	minutes	25 secondes
Délai total des véhicules	289	minutes	52 secondes

Dans ce cas, face à un passage à niveau bloqué durant 5 minutes, 114 véhicules subiront un délai moyen de 2 minutes et 21 secondes. Il est aussi intéressant de connaître si la longueur de 231 mètres d'une file d'attente pourrait atteindre un feu de circulation ou le croisement d'une autre route. Un tel cas pourrait venir perturber encore plus la circulation sur le réseau. Dans notre situation, la file d'attente n'atteint pas de feu de circulation dans les 2 directions comme on peut l'observer à la figure suivante.

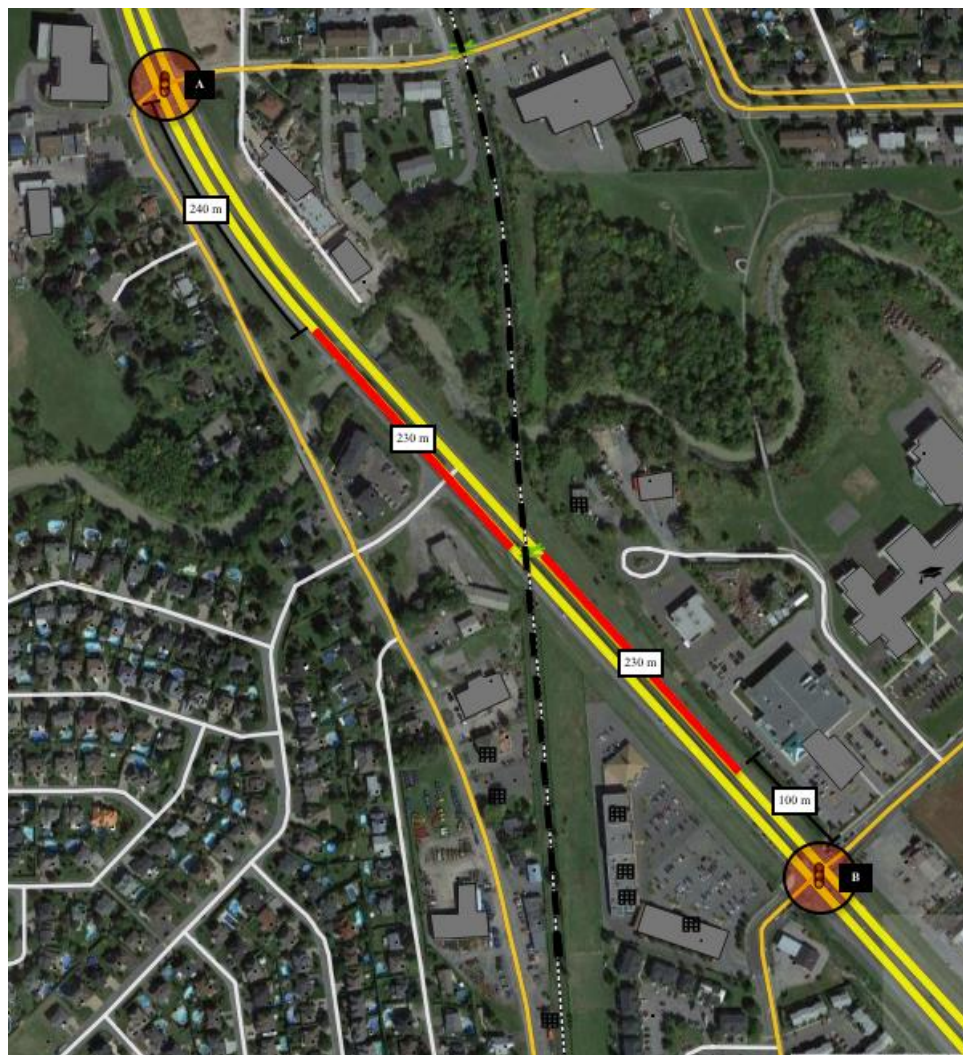


Figure 4-5 Représentation de la longueur des files d'attente du passage à niveau 1

Il faudrait que le train circule à une vitesse de 40 km/h pour que la file d'attente atteigne le feu de circulation B se situant à 330 mètres du passage à niveau.

Voici le tableau des résultats pour le même train à la même heure, mais au croisement d'une route secondaire.

Tableau 4-7 Résultats au passage à niveau d'une route secondaire dans la municipalité C

RÉSULTATS PASSAGE À NIVEAU			
Temps total de blocage au passage à niveau	5	minutes	4 secondes
Temps de dissipation	0	minutes	31 secondes
Nombre de véhicules subissant un délai	16	véhicules	
Délai moyen par véhicule	2	minutes	32 secondes
Nombre maximal de voitures/voie	15	véhicules	
Longueur maximale d'une file	90	mètres	
Délai total d'un cycle	5	minutes	36 secondes
Délai total des véhicules	42	minutes	20 secondes

Étant donné le débit journalier moyen assez faible à cet endroit, le passage d'un train, même durant les heures de pointe, ne cause pas de congestion trop importante. Effectivement, une accumulation de 15 véhicules est estimée, et ce, pour une durée totale de 5 minutes et 36 secondes. À noter que le délai moyen par véhicule est toujours le même.

Voici un tableau démontrant les impacts sur la circulation à un passage à niveau critique par rapport à différentes vitesses selon un train de 4 200 mètres de passage à 7 h la semaine. On remarque que la vitesse du train peut avoir une influence majeure sur la circulation routière. Effectivement, un train de passage à basse vitesse prend beaucoup plus de temps à libérer le passage à niveau et le temps d'attente engendre des conséquences plus grandes sur le réseau routier.

Tableau 4-8 Résultats au passage à niveau selon différentes vitesses (train de 4 200 mètres)

	<u>Vitesse</u>			
	15 km/h	30 km/h	45 km/h	60 km/h
Temps total de blocage au passage à niveau	17m 56s	9m 32s	6m 44s	5m 20s
Temps de dissipation	8m 19s	4m 25s	3m 07s	2m 28s
Nombre de véhicules subissant un délai	404	214	151	120
Délai moyen par véhicule	8m 58s	4m 46s	3m 22s	2m 40s
Nombre maximal de voitures/voie	131	69	46	39
Longueur maximale d'une file (m)	785	416	277	231
Délai total d'un cycle	26m 15s	13m 57s	9m 51s	7m 48s

Tableau 4-9 Résultats au passage à niveau selon différentes vitesses (train de 2 000 mètres)

	<u>Vitesse</u>			
	15 km/h	30 km/h	45 km/h	60 km/h
Temps total de blocage au passage à niveau	9m 8s	5m 08s	3m 48s	3m 08s
Temps de dissipation	4m 14s	2m 23s	1m 46s	1m 27s
Nombre de véhicules subissant un délai	205	115	85	70
Délai moyen par véhicule	4m 34s	2m 34s	1m 54s	1m 34s
Nombre maximal de voitures/voie	69	39	23	23
Longueur maximale d'une file (m)	416	231	139	139
Délai total d'un cycle	13m 22s	7m 31s	5m 34s	4m 35s

En poussant cette analyse pour les 10 passages à niveau les plus critiques sur le territoire, il est possible d'obtenir les résultats suivants selon les temps de la journée où le débit de circulation est fort, moyen et faible. Notons que la vitesse des trains diffère entre chaque municipalité et que, par conséquent, le temps de passage d'un train de 4 200 mètres varie. Par exemple, un même train pourrait bloquer un passage à niveau durant 6 minutes pour la municipalité D, mais le bloquerait plutôt durant 5 minutes pour la municipalité B. Voici donc les résultats des 10 passages à niveau selon les débits de circulation suivants.

Tableau 4-10 DJMA utilisé pour les calculs

	PAN 7	PAN 8	PAN 9	PAN 10	PAN 1	PAN 5	PAN 6	PAN 4	PAN 2	PAN 3
Municipalité	Municipalité B	Municipalité C	Municipalité C	Municipalité C	Municipalité C	Municipalité C	Municipalité D	Municipalité D	Municipalité D	Municipalité D
DJMA	4300	3800	2500	1500	19600	6000	3800	6000	19600	10000

Tableau 4-11 Statistiques aux passages à niveau aux heures (PAN) de pointe

Trafic routier aux heures de pointes (fort)					
Lieu	Nb. de voies	Municipalité	Nb. max. de véh./voie	Délai total d'un cycle	Nombre de véh. avec délai
PAN 1	2	Municipalité C	39	7 min 25 sec	114
PAN 2	3	Municipalité D	26	6 min 38 sec	102
PAN 3	2	Municipalité D	20	5 min 54 sec	46
PAN 4	1	Municipalité D	24	7 min 17 sec	35
PAN 5	1	Municipalité C	24	5 min 57 sec	28
PAN 6	1	Municipalité D	18	7 min 02 sec	21
PAN 7	1	Municipalité B	17	5 min 40 sec	19
PAN 8	1	Municipalité C	15	5 min 36 sec	15
PAN 9	1	Municipalité C	10	5 min 24 sec	10
PAN 10	1	Municipalité C	6	5 min 16 sec	6

Tableau 4-12 Statistiques aux passages à niveau (PAN) aux heures normales

Trafic routier aux heures normales (moyen)					
Lieu	Nb. de voies	Municipalité	Nb. max. de véh./voie	Délai total d'un cycle	Nombre de véh. avec délai
PAN 1	2	Municipalité C	21	6 min 00 sec	51
PAN 2	3	Municipalité D	14	5 min 41 sec	48
PAN 3	2	Municipalité D	11	5 min 28 sec	23
PAN 4	1	Municipalité D	13	6 min 51 sec	18
PAN 5	1	Municipalité C	13	5 min 31 sec	14
PAN 6	1	Municipalité D	10	6 min 44 sec	11
PAN 7	1	Municipalité B	9	5 min 23 sec	10
PAN 8	1	Municipalité C	8	5 min 21 sec	8
PAN 9	1	Municipalité C	5	5 min 15 sec	5
PAN 10	1	Municipalité C	3	5 min 11 sec	3

Tableau 4-13 Statistiques aux passages à niveau (PAN) durant la nuit

Trafic routier durant la nuit (faible)					
Lieu	Nb. de voies	Municipalité	Nb. max. de véh./voie	Délai total d'un cycle	Nombre de véh. avec délai
PAN 1	2	Municipalité C	5	5 min 14 sec	10
PAN 2	3	Municipalité D	3	5 min 11 sec	10
PAN 3	2	Municipalité D	2	5 min 09 sec	5
PAN 5	1	Municipalité C	3	5 min 10 sec	3
PAN 4	1	Municipalité D	3	6 min 29 sec	3
PAN 7	1	Municipalité B	2	5 min 08 sec	2
PAN 8	1	Municipalité C	2	5 min 08 sec	2
PAN 6	1	Municipalité D	2	6 min 28 sec	2
PAN 9	1	Municipalité C	1	5 min 07 sec	1
PAN 10	1	Municipalité C	1	5 min 06 sec	0

Ces tableaux ont été classés en ordre décroissant du nombre de véhicules subissant un délai. On remarque que le *PAN 1* dans la municipalité C figure au premier rang dû à son haut débit de circulation. Par conséquent, il pourrait représenter un endroit intéressant pour y construire un viaduc et ainsi éliminer les problèmes de files d'attente. Malgré un même débit de circulation, le *PAN 2* tombe au deuxième rang puisqu'il possède 3 voies. Ainsi, les véhicules sont mieux répartis et le temps de dissipation de chaque file d'attente est donc diminué.

Par rapport à leur débit de circulation, les *PAN 4* et *PAN 6* ont des délais totaux de cycle plus élevé dû à la limite de vitesse imposée dans la municipalité D. Il y a moins de véhicules subissant un délai, mais leur délai est en moyenne plus long. Dans la figure suivante, l'achalandage des axes routiers est coloré du rouge au vert selon l'intensité de circulation. En utilisant les résultats aux heures de pointe, chacun des 10 passages à niveau a été géolocalisé sur le territoire d'analyse afin de différencier les différents niveaux d'impacts sur le nombre de véhicules subissant un délai. Logiquement, on remarque que les passages à niveau au croisement de route plus achalandée engendrent un nombre plus élevé de véhicules en attente.



Figure 4-6 Cartographie des 10 passages à niveau critique sur le territoire d'analyse

Finalement, on remarque que le nombre de véhicules impliqués dans un délai au passage à niveau diminue grandement selon le temps de la journée. Cependant, le délai total d'un cycle reste tout de même similaire, car ce n'est que le temps de dissipation de la file d'attente qui diminue et non le temps de passage du train, qui lui reste constant, peu importe le temps de la journée.

4.5 Impacts sur la sécurité

Une manière de visualiser le niveau de service des pompiers est de géolocaliser toutes les sorties de pompiers durant la dernière année. On peut alors examiner les différents scénarios en vertu des probabilités d'intervention. Voici une représentation de ces données pour la municipalité C en 2015.



Figure 4-7 Sorties des camions de pompiers de la municipalité C en 2015

La surface rouge représente la zone inaccessible par les services d'urgence lors du passage d'un train. On remarque que la caserne se retrouve à gauche de la voie ferrée et que la région à droite est donc à risque lors du passage d'un train. En outre, dans le pire des cas, avec un train d'une longueur de 4 200 mètres, tous les passages à niveau peuvent être bloqués en même temps et ainsi bloquer la municipalité au complet. Voici ce qu'un train de cette longueur représenterait pour la municipalité C à un moment donné.



Figure 4-8 Train de 4 200 mètres traversant la municipalité C

En poursuivant l'analyse des données avec les adresses civiques, il est possible d'obtenir le tableau sommaire suivant.

Tableau 4-14 Sommaire des zones à risque

	Zone non-risquée		Zone risquée		Résultats	
	Nombre d'adresses	Nombre de sorties	Nombre d'adresses	Nombre de sorties	% sorties zone risquée	% adresses zone risquée
Municipalité A	2702	103	993	30	22,56%	26,87%
Municipalité B	2049	86	313	13	13,13%	13,25%
Municipalité C	1913	94	6155	144	60,50%	76,29%

Selon ces calculs, la municipalité B est moins à risque puisque 85 % des bâtiments se situent du même côté de la voie ferrée que la caserne. Cependant, la municipalité C serait plus à risque que ses voisins. Comme on peut l'observer à la Figure 4-7, puisque la caserne est située du côté nord de la voie ferrée et que la plupart de sa population se situe de l'autre côté, cela fait en sorte que le $\frac{3}{4}$ des bâtiments ne sont pas accessibles de la caserne lors du passage d'un train. De fait, 54 % des sorties des camions de pompiers se situaient de l'autre côté de la voie ferrée en 2015. Avec l'ajout de passages de train dû à l'implantation d'un pôle logistique, la probabilité qu'un appel en provenance du sud de la voie survienne lors d'un passage de train augmentera.

En utilisant la fonction de coordonnées moyennes sur la couche de points des sorties de camions de pompiers de la municipalité C, on obtient l'emplacement optimal de la caserne minimisant la distance parcourue par les camions de pompier. Notons que cette méthode ne prend pas en compte le réseau routier, mais seulement la distance à vol d'oiseau. Elle donne tout de même une bonne approximation de l'endroit où devrait se situer la caserne.



Figure 4-9 Emplacement optimal de la caserne selon les distances centrales minimales

En considérant le passage des trains, ce changement de localisation permettrait de couvrir 75 % des adresses, mais 45 % des sorties seraient de l'autre côté de la voie ferrée. Le passage des trains est difficile à gérer pour la municipalité C, car la voie ferrée divise la ville en deux. Ce n'est pas le cas de la municipalité B qui couvre beaucoup mieux sa population lors du passage d'un train (85 %) puisque celui-ci passe à l'extérieur de la ville et non pas en plein centre.



Figure 4-10 Sorties des camions de pompiers de la municipalité B en 2015

Pour la municipalité C, en poussant l'analyse selon l'heure des sorties des camions de pompiers, on peut connaître le pourcentage de sorties selon le temps de la journée. Les 24 heures ont été fractionnées en quatre plages horaires : matin (5 h-10 h), midi (10 h-15 h), après-midi (15 h-20 h), nuit (20 h-5 h).

Tableau 4-15 Sorties des camions des pompiers selon quatre plages horaires pour la municipalité C

	Zone risquée	Zone non-risquée	Total
Matin	12,61%	6,72%	19,33%
Midi	18,49%	15,97%	34,45%
Après-midi	16,39%	9,24%	25,63%
Nuit	12,61%	7,98%	20,59%
Total	60,08%	39,92%	100,00%

Il semble y avoir plus d'appels durant la plage horaire du midi, soit 35 % dont 18,49 % en zone risquée. Par conséquent, la probabilité d'un blocage des services d'incendie est plus grande si un train passe entre 10 h et 20 h. Dans le cas de la municipalité C, puisqu'il y a moins d'appels durant le matin et la nuit, il serait donc préférable que les trains circulent durant ces deux plages horaires. Voici la cartographie des sorties des camions de pompiers selon les quatre plages horaires.



Figure 4-11 Carte des sorties des pompiers selon quatre plages horaires (municipalité C)

Bref, la révision des mesures d'urgence peut permettre de réduire le risque, mais la construction d'un viaduc au croisement d'une artère importante par exemple reste tout de même, dans le cas de cette municipalité, un moyen permettant de réduire cette problématique. Bien sûr, d'autres casernes des villes avoisinantes peuvent venir en aide, mais souvent, celles-ci se situent à plusieurs kilomètres.

4.6 Impacts sur le niveau de bruit

À titre indicatif, voici un graphique montrant les différents niveaux sonores perçus par les habitants selon leur distance par rapport à la voie ferrée, leur emplacement et l'heure de la journée. Les calculs sont basés sur un train de 2 000 mètres (sans sifflement) circulant à une vitesse de 60 km/h. Notons également que le bruit est grandement influencé par les structures situées entre la voie ferrée et le récepteur (maison, clôtures pleines, édifices).

Niveaux sonores perçus lors du passage d'un train selon la distance et l'emplacement

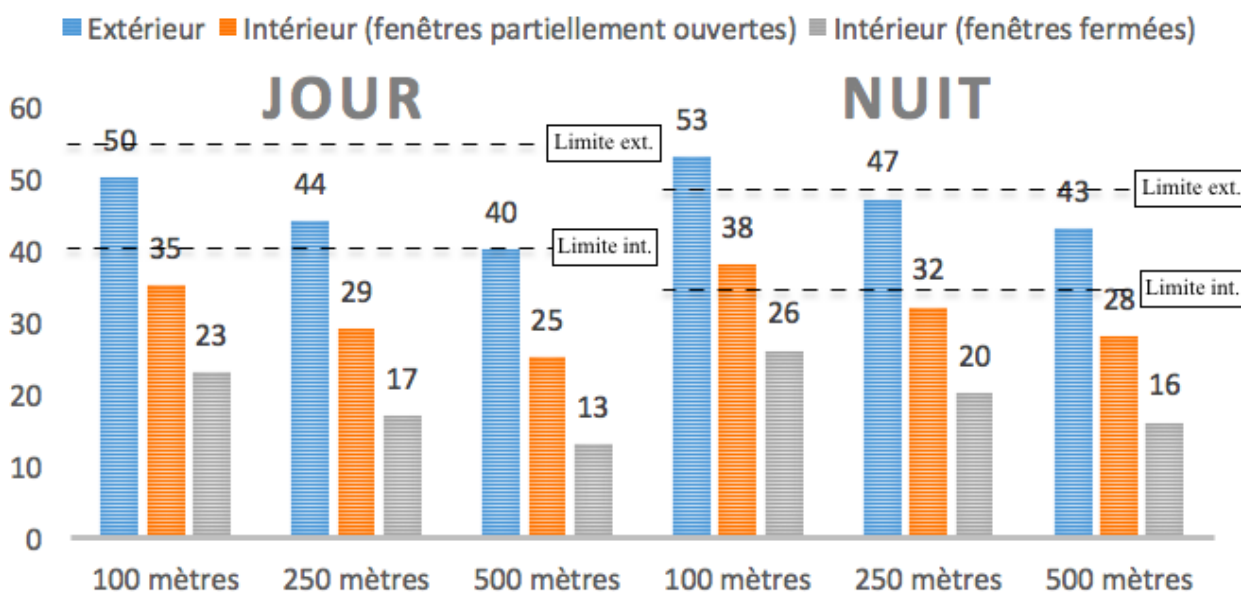


Figure 4-12 Niveaux sonores perçus lors du passage d'un train (60 km/h), selon la distance

Les critères sonores recommandés sont dépassés durant la nuit pour la population située à moins de 100 mètres de la voie ferrée. Effectivement, les niveaux sonores atteignent 53 dB(A) à

l'extérieur et 38 dB(A) à l'intérieur par rapport à des limites de 50 et de 35 respectivement. Notons que si les fenêtres de la maison étaient fermées, le niveau sonore descendrait sous la limite à 26 dB(A).

En utilisant l'approche méthodologique à l'aide de l'outil Excel interactif, il est possible de calculer le nombre de personnes affectées par différents niveaux sonores en provenance du train. Voici les résultats pour un train provoquant 50 dB à 70 mètres de la voie ferrée dans la municipalité C.

Tableau 4-16 Résultats d'un train provoquant 50 dB à 70 mètres de la voie ferrée dans la municipalité C

RÉSULTATS BRUIT			
Nombre de bâtiments affectés	134	bâtiments	
Nombre de personnes dérangées	349	soit	1,66% de la population

En analysant les impacts de différents niveaux de bruit engendrés par le passage d'un train, nous obtenons le graphique suivant.

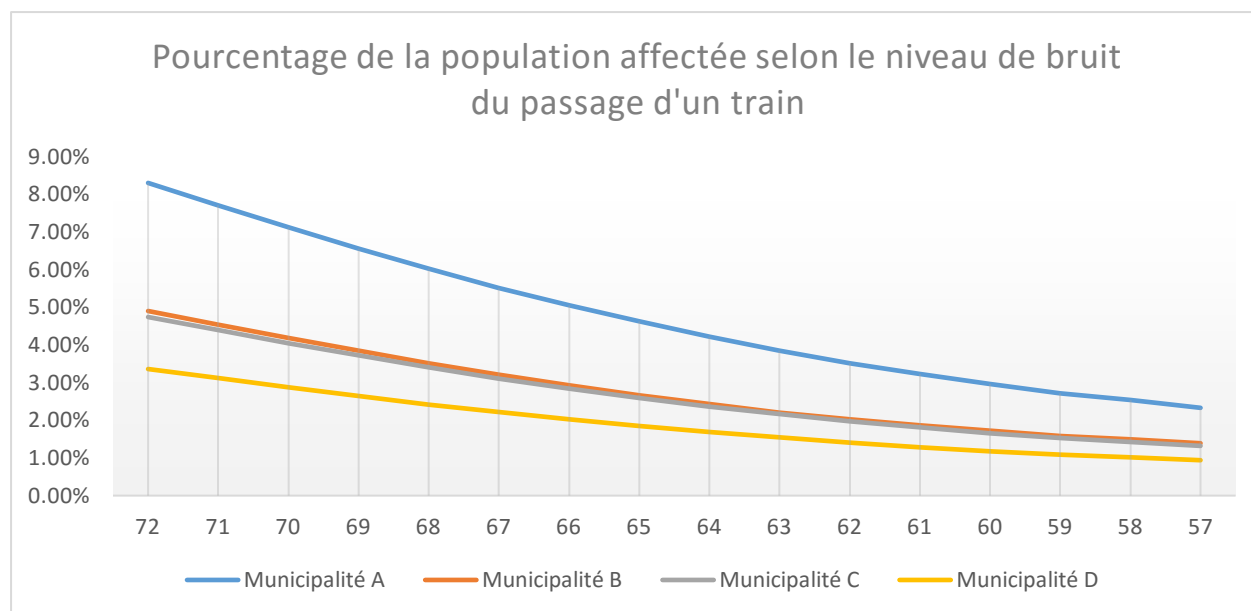


Figure 4-13 Pourcentage de la population potentiellement affectée selon le niveau de bruit

Dans ce graphique, la municipalité A est la plus touchée, car la majeure partie de sa population se trouve à proximité de la voie ferrée. Cependant, plus le niveau sonore du train diminue, plus la différence entre les municipalités diminue. Cela s'explique tout simplement par le fait que le pourcentage de personne affectée est exponentiel par rapport au niveau sonore (voir Figure 2-8). Donc, plus un train émet un niveau sonore élevé, plus la population de la municipalité A sera affectée par rapport à ses municipalités voisines.

Pour terminer, voici une grille pondérée des résultats obtenus permettant de comparer le niveau d'impact du passage de train entre les municipalités. Les poids des différents impacts peuvent être choisis selon leur niveau d'importance porté par la population, le choix est ici arbitraire et ne sert qu'à titre indicatif. Le tableau des données de la grille se retrouve en annexe.

Tableau 4-17 Grille pondérée des résultats de l'analyse des impacts potentiels

		Description des données	Poids (%)	Municipalité A	Municipalité B	Municipalité C	Municipalité D
Circulation routière		Moyenne de véhicules subissant un délai par passage à niveau (10 les plus critiques) lors du passage d'un train	40	21,96	14,90	27,14	40,00
Sécurité		Pourcentage de sorties en zone risquée	20	8,52	4,81	20,00	7,41
Bruit	Population 1	Proportion de population à moins de 100 mètres de la voie ferrée	15	15,00	6,56	7,50	5,63
	Population 2	Proportion de population entre 100 et 250 mètres de la voie ferrée	10	10,00	4,83	5,52	4,14
	Population 3	Proportion de population entre 250 et 500 mètres de la voie ferrée	5	5,00	4,66	3,45	2,41
	Points d'intérêt	150 - Distance moyenne des points d'intérêt de la voie ferrée	5	1,57	3,82	5,00	3,93
	Écoles	Nombre d'écoles à moins de 500 mètres de la voie ferrée	5	0,83	0,83	4,17	5,00
Résultats			100	63	40,42	72,77	68,52

La municipalité C est la plus impactée par les passages de train avec un pointage de 72,77. Cela s'explique notamment par la proximité de sa population à la voie ferrée et le haut pourcentage de sorties d'incendie en zone risquée. Notons que la municipalité D est la plus impactée du côté de la circulation routière puisqu'elle possède des passages à niveau au croisement de routes à haut débit de véhicules.

CHAPITRE 5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

5.1 Synthèse

Étant donné l'ampleur des projets de pôle logistique, il est normal d'être inquiet des impacts sur le réseau de transport. Ces investissements importants auront certainement un effet positif sur l'économie de la région grâce entre autres à la création d'emplois directs et indirects. Cependant, ces projets ne doivent pas nuire au bien-être et à la sécurité de la population. L'augmentation du flux de marchandises sur le réseau routier et ferroviaire se doit donc d'être planifié si on veut l'intégrer efficacement au réseau actuel. Les congestions, les pavés abîmés, les accidents de la route, les complications dues aux matières dangereuses et les entraves aux véhicules d'urgence sont des conséquences possibles du projet et elles doivent être analysées. Ce mémoire s'est attardé aux impacts de l'augmentation des passages de trains notamment sur l'attente aux passages à niveau, l'efficacité des services d'urgence, le transport de matières dangereuses, le bruit et les vibrations.

Grâce à cette recherche, les municipalités pourront mieux comprendre les impacts possibles sur le transport et s'ajuster en conséquence. Cela évitera non seulement des coûts supplémentaires d'adaptation, mais rassurera la population et évitera des scénarios problématiques qui nuiraient au bon fonctionnement des activités logistiques. La méthodologie permet d'identifier les priorités nécessitant des investissements pour mitiger les effets négatifs d'un pôle logistique. En conséquence, les communautés bénéficieront d'une intégration du pôle logistique adaptée à leur territoire et de conditions raisonnables face à l'ajout de passages de trains de marchandises. Les municipalités pourront ainsi anticiper les impacts ferroviaires potentiels et non pas réagir aux nuisances des activités du pôle logistique lorsqu'elles seront débutées.

5.2 Contraintes

Tout au long du projet, il fut difficile d'obtenir des données de la part des compagnies ferroviaires et maritimes. Souvent, les données sont soit inexistantes ou ne doivent pas être divulguées. De plus, les DJMA ne sont pas nécessairement disponibles à tous les passages à niveau et il faut donc estimer le débit de véhicules à ces endroits ou tout simplement effectuer un comptage

terrain. En outre, les données concernant les horaires des trains seront souvent seulement disponibles une fois que les activités du nouveau pôle logistique seront débutées.

Pour calculer les impacts à l'avance, il faut donc opter pour l'analyse de différents scénarios. L'analyse par scénarios est la base même de la méthodologie présentée puisqu'elle envisage différentes situations dans un contexte incertain comme l'implantation d'un pôle logistique et permet ainsi une préparation concise et une facilité d'adaptation. Puisque l'on doit se fier à des prédictions, les résultats peuvent changer selon l'avancement du projet. Il est donc important d'ajuster les résultats au fur et à mesure que le projet avance et que de nouvelles prédictions plus précises sont disponibles. Une des contributions du mémoire est justement l'outil Excel interactif permettant de modifier les paramètres rapidement. En fait, il suffit de modifier les chiffres dans la méthodologie pour obtenir de nouveaux résultats plus pertinents.

Par ailleurs, le calcul du niveau de bruit et des vibrations n'est pas simple et nécessite l'intervention d'experts dans les domaines acoustiques et l'analyse des sols. Des estimations peuvent être faites, mais l'obtention de valeurs précises demande une analyse beaucoup plus poussée que celle faite dans ce mémoire et s'avérer dispendieuse. Aussi, les impacts des vibrations sont sujets aux différentes réactions humaines et restent donc des résultats abstraits.

De plus, la complexité du réseau routier à certains passages à niveau peut rendre le calcul des impacts sur la circulation beaucoup plus compliquée que dans ce mémoire. Par exemple, si la file d'attente atteint un feu de circulation ou qu'il n'existe pas de voie de virage prioritaire (Figure 3-8), la confusion des automobilistes face à de telles situations est difficilement modélisable et le calcul des temps d'attente devient trop complexe pour ce mémoire.

Finalement, plus un train circule à basse vitesse, plus le temps d'attente au passage à niveau sera élevé. Il serait donc préférable que les trains circulent à haute vitesse pour ainsi atténuer les conséquences sur le trafic routier. Cependant, plus un train circule à haute vitesse, plus les conséquences sur le bruit seront élevées. Il existe donc un compromis entre le temps d'attente au passage à niveau et le niveau de bruit qui ne peut être éliminé.

Le même genre de compromis existe entre l'utilisation des camions de marchandises versus les trains de marchandises. En fait, si on répartit moins de marchandises sur les trains, alors il y en

aura plus sur les camions causant ainsi plus de trafic sur les routes. Est-ce que les gens préfèrent être pris dans un embouteillage sur l'autoroute ou attendre le passage d'un train à un passage à niveau ? Préfèrent-ils un niveau de bruit minime et constant en provenance de l'autoroute ou un niveau de bruit plus élevé et intermittent en provenance de la voie ferrée ? Il faut comprendre que peu importe la réponse à ces questions, la population restera souvent mitigée quant aux conséquences des activités industrielles et que les municipalités doivent considérer le mieux possible les opinions malgré les contradictions présentes.

5.3 Perspectives

On s'attarde souvent aux conséquences économiques et environnementales des projets logistiques, mais le côté social est primordial dans l'acceptation du projet. Il faut donc trouver la façon la moins néfaste sur les activités humaines d'acheminer les matières premières, les produits semi-finis et les produits finis de leur point d'origine jusqu'à leur point de consommation. Les gens ne sont souvent pas conscients que les activités industrielles, parfois néfastes sur leur milieu, sont nécessaires s'ils veulent continuer de consommer. Nous sommes en fait les précurseurs de ses activités industrielles et c'est à nous d'en assurer la bonne intégration dans notre société si l'on veut continuer de jouir de ses bienfaits.

Pour ce faire, une meilleure compréhension du temps de déplacement des automobilistes associé au blocage des passages à niveau reste un élément à mieux comprendre. Effectivement, la collecte et l'analyse de données sur les temps de parcours et les volumes de trafic avant et après le blocage d'un passage à niveau sont minimales dans la littérature. Une étude de simulation permettrait d'obtenir une évaluation plus détaillée des changements dans la variabilité des temps de déplacement des automobilistes lors du passage d'un train. Il serait alors possible d'obtenir un contournement lors du passage d'un train représentant ainsi un gain de temps considérable pour les automobilistes. Ces situations seraient intéressantes également dans une municipalité où il n'existe aucun viaduc permettant de traverser la voie ferrée lors du passage d'un train.

Des recherches permettant de trouver des routes alternatives lors d'un blocage de passage à niveau seraient donc intéressantes. En fait, c'est la façon de connaître à l'avance le passage d'un train et d'en informer le conducteur qui reste un aspect inconnu. Par exemple, dès le départ de son point d'origine, il existerait souvent un itinéraire plus rapide pour le conducteur que d'attendre à un

passage à niveau. Par contre, le conducteur prendra seulement conscience du passage d'un train lorsqu'il arrivera au passage à niveau. En fait, l'itinéraire aurait dû être modifié dès le départ sachant qu'un train allait bloquer la route et le conducteur aurait donc utilisé un détour optimal ou tout simplement retarder son départ.

Une autre avenue de recherche intéressante serait d'identifier les façons d'améliorer l'efficacité des services d'urgence lors du passage d'un train dans une municipalité. Comment peut-on bien gérer les services d'incendie malgré le passage d'un train ? La communication entre les compagnies ferroviaires et les services d'urgence est primordiale dans ce genre de situation si on veut garder un temps de réponse raisonnable. Par contre, les municipalités ne sont souvent pas au courant de l'horaire des passages de train et ne peuvent donc pas ajuster leurs opérations face à une situation où il y aurait un feu de l'autre côté de la voie ferrée. La visualisation des déplacements du train en temps réel, par exemple, pourrait améliorer la cohésion et ainsi assurer une meilleure sécurité pour la population.

BIBLIOGRAPHIE

Administration Portuaire de Montréal. (Novembre 2015). Contrecœur Maritime Terminal Expansion Project : Description of a designated project under the canadian environmental assessment act, 2012. Tiré de <http://www.ceaa-acee.gc.ca/050/documents/p80116/103963E.pdf>

Administration Portuaire de Montréal. (Mai 2015). Marché des conteneurs. Tiré de https://www.port-montreal.com/files/PDF/publications/2015-05_brochure-conteneur-FR.pdf

Agence canadienne d'évaluation environnementale. (2016). Lignes directrices pour la préparation d'une étude d'impact envrionnemental. Tiré de <http://www.ceaa-acee.gc.ca/050/documents/p80116/107463F.pdf>

Association des chemins de fer du Canada (2012). Règlement concernant la sécurité de la voie. Tiré de https://www.tc.gc.ca/media/documents/securiteferroviaire/surete_voie-2012.pdf

Association des chemins de fer du Canada (2015). Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada. Tiré de http://www.railcan.ca/assets/images/regulations/rules/CROR_FINAL_FR.pdf

Association des chemins de fer du Canada (2015). Tendances ferroviaires 2015. Tiré de http://www.railcan.ca/assets/images/publications/Rail_Trends_2015/Tendances_ferroviaires_2015.pdf

Association des chemins de fer du Canada, Fédération canadienne des municipalités. (2013). Lignes directrices applicables aux nouveaux aménagements à proximité des activités ferroviaire. Tiré de http://www.voisinage.ca/asset/image/reference/guidelines/fr/2013_05_27_Guidelines_NewDevelopment_F.pdf

Baril, H. (Mai 2015). Vague d'investissements au Port de Montréal. Tiré de <http://affaires.lapresse.ca/economie/transports/201505/13/01-4869226-vague-dinvestissements-au-port-de-montreal.php>

Berglund, B., Lindwall, T., Schwela, D.H. (1999). Guidelines for Community Noise. Geneva, World Health Organization (WHO), Organisation mondiale de la santé (OMS), 159 p. Tiré de <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>

Bolivar, J-G. (2016). L'acceptabilité sociale des projets est-elle un mythe ou une réalité. Project Management Institute Section de Lévis-Québec, Tiré de <https://pmiquebec.qc.ca/index.php/articles-du-mois/150-l-acceptabilite-sociale-des-projets-est-elle-un-mythe-ou-une-realite>

Bureau de la sécurité des transports du Canada (2015). Rapport annuel au parlement 2014-2015. Tiré de http://www.bst-tsb.gc.ca/fra/publications/ann/2015/fra/pdf/TSB_AnnualReport2014_FR.pdf

Burton, M. (2011). U30 : Evaluation of Freight Vehicles in Short-Haul Intermodal Lanes. National Transportation Research Center. Tiré de http://ntl.bts.gov/lib/44000/44200/44239/U30-Evaluation_of_Freight_Vehicles_in_Short-Haul_Intermodal_Lanes__FINAL_.pdf

Cik, M. (2016). Rail acoustic annoyance monitoring sensor system. Transportation Research Board 95th annual meeting.

Données statistiques et géographiques. (2007). Recensement 2011 et 2006. Tiré de <http://ivt.crepuq.qc.ca/>

Fédération canadienne des municipalités et association des chemins de fer du Canada (mai 2013).

Gjestland, T. (2008). Research on community response to noise – in the last five years. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Foxwoods, CT. Tiré de <http://www.icben.org/2008/PDFs/Gjestland.pdf>

Federal Highway Administration. (1998). FHWA Traffic Noise Model Technical Manual. Tiré de http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/traffic_noise_model/old_versions/tnm_version_10/tech_manual/TNM10TechManual.pdf

Forkenbrock, D. (1998). External costs of rail and truck freight transportation. *Transportation & Vehicle Safety Policy*. Tiré de http://ir.uiowa.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=ppc_transportation

Gitelman, V., Hakkert, S., Doveh, E., Cohen, A. (2009). Screening Tools for Considering Grade Separation at Rail-Highway Crossings. *Journal of Transportation Engineering* 132(1). Tiré de https://www.researchgate.net/publication/245306867_Screening_Tools_for_Considering_Grade_Separation_at_Rail-Highway_Crossings

Gouvernement du Québec (2017). Adresses Québec. Tiré de <http://adressesquebec.gouv.qc.ca/index.asp>

Gruyter, C., Currie, G. (2016). Impacts of Rail-Road Crossings: International Synthesis and Research Gap. Tiré de <http://docs.trb.org/prp/16-1588.pdf>

Heljedal, M. (2013). Factors Influencing the Choice between Road and Multimodal Transportation. Tiré de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:668777/FULLTEXT02>

International Union of Railways. (2016). Railway noise in Europe – State of the art report. Tiré de http://www.uic.org/IMG/pdf/railway_noise_in_europe_2016_final.pdf

Ministère des Transports, de la Mobilité Durable et de l'Électrification des Transports du Québec (2011). Plan territorial de mobilité durable : La Montérégie en quelques chiffres.

Kang, Y-S. (2000). Delay, Stop and Queue Estimation for Uniform and Random Traffic Arrivals at Fixed-Time Signalized Intersections, Ch.4. Tiré de <https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-04202000-12070029/unrestricted/Chapter04.pdf>

Khoo, I-H., Nguyen, T-H. (2011). Study of the noise pollution at container terminals and the surroundings. Tiré de https://www.metrans.org/sites/default/files/research-project/09-09_Khoo_METRANS_final_report_0_0.pdf

Hampton Roads Planning District Commission (mai 2007). Suffolk Rail Impact Study. Tiré de <http://www.hrtpo.org/uploads/docs/SuffolkRailReport.pdf>

Lercher, P., de Greve, B., Botteldooren, D., Rüdiss, J. (2008). A comparison of regional noise-annoyance-curves in alpine areas with the European standards curves. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Foxwoods, CT, Tiré de http://www.icben.org/2008/PDFs/Lercher_et_al_alpine_areas.pdf

Ministère de la justice (2016). Loi sur les transports au Canada. Tiré de <http://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/C-10.4.pdf>

Ministère des Transports, de la Mobilité Durable et de l'Électrification des Transports du Québec (2014). Atlas des transports. Tiré de http://transports.atlas.gouv.qc.ca/NavFlash/SWFNavFlash.asp?input=SWFDebitCirculation_2014

Morency, C. Systèmes de transport, 5^e éd. Canada : Presses internationales Polytechnique, 2007.

Office des transports du Canada (août 2011). Méthodologie de mesure et de présentation d'un rapport sur le bruit ferroviaire. Tiré de https://www.otc-cta.gc.ca/sites/all/files/altformats/books/methodologie_mesure_bruit_ferroviaire.pdf

Ogden, B. (2007). Railroad-Highway Grade Crossing Handbook - Revised Second Edition 2007. Tiré de http://safety.fhwa.dot.gov/xings/com_roaduser/07010/07010.pdf

Öhrström, E., Ögren, M., Jerson, T., Gidlöf-Gunnarsson, A. (2008). Experimental studies on sleep disturbances due to railway and road traffic noise. Tiré de http://www.icben.org/2008/pdfs/oehrstroem_et_al.pdf

Okitsu, W., Louie, J., Lo, K. (2010). Simulation-free railroad grade crossing delay calculations. Tiré de http://www.westernite.org/annualmeetings/sanfran10/Papers/Session%204_Papers/ITE%20Paper_4A-Okitsu.pdf

Organisation de coopération et de développement économiques (1997). Les incidences sur l'environnement du transport de marchandises. Tiré de <http://www.oecd.org/fr/environnement/envech/2386739.pdf>

Organisation mondiale de la santé (OMS), Berglund, B., Lindvall, T. & Schwela, D.H (éditeurs). (1999). Guidelines for Community Noise. Tiré de <http://www.who.int/docstore/peh/noise/Comnoise-2.pdf>

Quesseveur, E. (mars 2001). Traitement spatial du bruit des transports terrestres. (Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, France). Tiré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00081288/document>

Padova, A. (Janvier 2006). Tendances dans le secteur de la conteneurisation et capacité des ports canadiens. Tiré de <http://www.bdp.parl.gc.ca/content/lop/researchpublications/prb0575-f.htm#eport>

Parametrix (octobre 2012). Coal Train Traffic Impact Study. Tiré de <http://www.seattle.gov/transportation/docs/121105PR-CoalTrainTrafficImpactStudy.pdf>

Parolas, I., Tavasszy, L., Kourounioti, I. (2017). Prediction of Vessel's Estimated Time of Arrival (ETA) in Container Terminals – A Case Study in the Port of Rotterdam, Transportation Research Board 96th Annual Meeting.

Port Authority of New York and New Jersey. (2013). Draft environmental impact statement for Cross Harbor Freight Program. Section 6.7: Noise. Tiré de http://www.panynj.gov/port/CHFP_draft_Tier_1_EIS/06.7_Noise.pdf

Ressources naturelles Canada (2016). Données GéoGratis. Tiré de <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/geographie/information-topographique/donnees-gratuites-geogratiss/11043>

Rigolett (1998). Calculation of Road Traffic Noise. Tiré de <https://rigolett.home.xs4all.nl/ENGELS/vlgcalc.htm#geo>

Rondinelli, D., Berry, M. (2000). Multimodal Transportation, Logistics, and the Environment: Managing Interactions in a Global Economy. European Management Journal Vol. 18 (No. 4), 398–410. Tiré de http://ac.els-cdn.com/S0263237300000293/1-s2.0-S0263237300000293-main.pdf?_tid=8118ed90-1c34-11e6-8820-00000aacb35e&acdnat=1463492431_aac3aa29951c139fba3e3a170f56e21e

Schrader, M. H., & Hoffpauer, J. R. (2001). Methodology for evaluating highway-railway grade separations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1754(1), 77-80. Tiré de http://www.t2s2.org/schrader_michael_h/a_methodology_for_evaluating_highway-railway_grade_separations

Smith, M., Croy, I., Ögren, M., Persson Waye, K. (2013). On the Influence of Freight Trains on Humans: A Laboratory Investigation of the Impact of Nocturnal Low Frequency Vibration and Noise on Sleep and Heart Rate. Tiré de <http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0055829&type=printable>

Smith, M., Ögren, M., Persson Waye, K. (2012). Vibration and noise induced sleep disturbance from freight trains – The importance of vibration direction. Tiré de <http://scitation.aip.org/docserver/fulltext/asa/journal/poma/15/1/1.4773190.pdf?expires=1480787326&id=id&accname=guest&checksum=6C854E4E872085C41FCB4DC42F9EA2E5>

Shalini, K., Kumar, B. (2014). Comparison of Traffic Noise Predictive Models with Experimental Data in Varanasi City India. Indian Institute of Technology (BHU). Tiré de <http://www.internationaljournalssrg.org/IJCE/2014/Volume1-Issue7/IJCE-V1I7P101.pdf>

Shield, B., Dockrell, J. (2003). The effects of noise on children at school : A review. Tiré de <http://live-riba.contensis.com/Files/RIBAHoldings/PolicyAndInternationalRelations/ClientForums/Schools/Events/Archive/2005/LearningEnvironments/TheEffectsOfNoiseOnChildren.pdf>

Taylor, J., Crawford, R. (2009). Prioritising Road-Rail Level Crossings for Grade Separation Using a Multi-Criteria Approach. Tiré de http://atr.info/papers/2009/2009_taylor_crawford.pdf

The European Commission, DG Health & Consumer Protection. (2001). Traffic Noise Pollution – A State-Of-The-Art Review. Tiré de https://ec.europa.eu/health/healthy_environments/docs/traffic_noise.pdf

Thompson, D.J., Jones, C.J.C. (1999). A review of the modelling of wheel/rail noise generation. Tiré de http://ac.els-cdn.com/S0022460X99925427/1-s2.0-S0022460X99925427-main.pdf?_tid=c0cc7bbe-b7e8-11e6-bfaa-00000aacb35d&acdnat=1480612277_7a6ea78486df87ef0fed4a375b0e4cfa

Transports Canada (2016). Inventaire des passages à niveau. Tiré de <http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/d0f54727-6c0b-4e5a-aa04-ea1463cf9f4c>

Transport Canada. (2014). Normes sur les passages à niveau. Tiré de <https://www.tc.gc.ca/media/documents/securiteferroviaire/normes-passages-niveau.pdf>

Transport Canada. (2014). Statistiques sur les collisions de la route au Canada en 2014. Tiré de https://www.tc.gc.ca/media/documents/securiteroutiere/scrc2014_fra.pdf

Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual. Tiré de http://www.gsweventcenter.com/Draft_SEIR_References%5C2000_TRB.pdf

Trombetta Zannin, P.H., Bunn, F. (2014). Noise annoyance through railway traffic – a case study. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12 (14). Tiré de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3896847/>

United States Department of Transportation (2000). The Changing Face of Transportation. Figure 5-30. Tiré de http://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov.bts/files/publications/the_changing_face_of_transportation/html/figure_05_30.html

Waddington, D., Woodcock, J., G. Smith, M., Janssen, S., Waye, K.P. (2015) CargoVibes: human response to vibration due to freight rail traffic, *International Journal of Rail Transportation*, Tiré de <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23248378.2015.1076623?needAccess=true>

Woodcock, J., Peris, E., Moorhouse, A., (2013). Attenuation of ground-borne vibration affecting residents near freight railway lines. *CargoVibes*, Deliverable D1.5, p.69

ANNEXE A – CARTOGRAPHIE DE LA DENSITÉ DE POPULATION



Figure A-1 Densité de population de la municipalité B



Figure A-2 Densité de population de la municipalité C

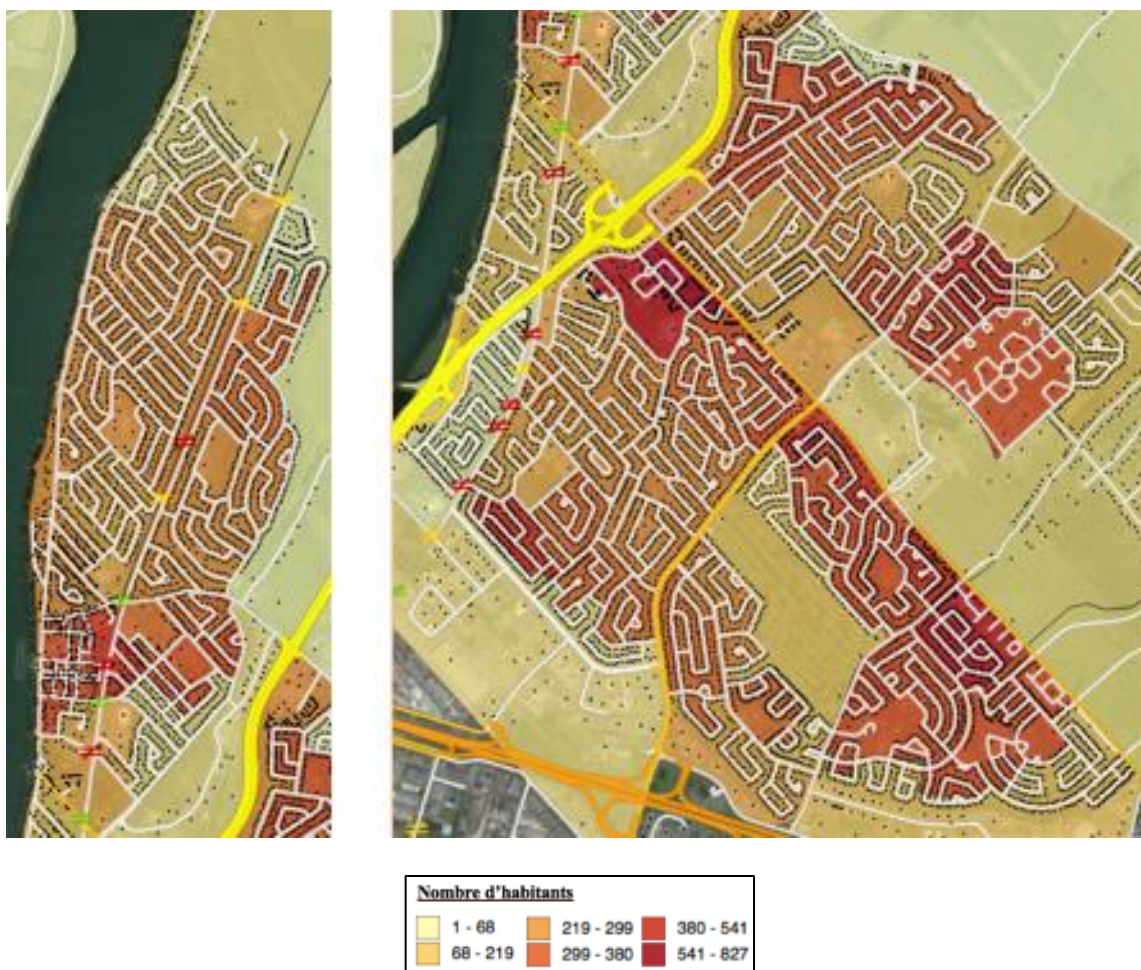


Figure A-3 Densité de population de la municipalité D

ANNEXE B – CARTOGRAPHIE DE LA SITUATION DU CORRIDOR FERROVIAIRE



Figure B-1 Situation du corridor ferroviaire de la municipalité A



Figure B-2 Situation du corridor ferroviaire de la municipalité C

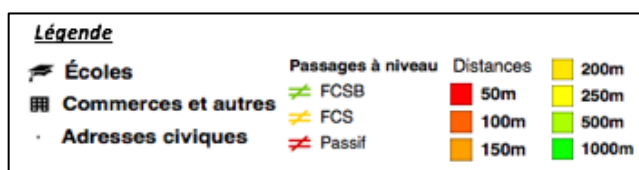


Figure B-3 Situation du corridor ferroviaire de la municipalité D

ANNEXE C – DONNÉES DE LA GRILLE PONDÉRÉE DES RÉSULTATS

Tableau C-1 Données de la grille pondérée des résultats

		Description des données	Poids (%)	Municipalité A	Municipalité B	Municipalité C	Municipalité D
Circulation routière		Moyenne de véhicules subissant un délai par passage à niveau (10 les plus critiques) lors du passage d'un train de 4 200 mètres aux heures de	40	28	19	34,6	51
Sécurité		Pourcentage de sorties en zone risquée *% des adresses en zone risquée	20	23	13	54	20*
Bruit	Population 1	Proportion de population à moins de 100 mètres de la voie ferrée	15	16	7	8	6
	Population 2	Proportion de population entre 100 et 250 mètres de la voie ferrée	10	29	14	16	12
	Population 3	Proportion de population entre 250 et 500 mètres de la voie ferrée	5	29	27	20	14
	Points d'intérêt	150 - Distance moyenne des points d'intérêt de la voie ferrée	5	28	68	89	70
	Écoles	Nombre d'écoles à moins de 500 mètres de la voie	5	1	1	5	6