



HAL
open science

Des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières urbaines dans une perspective de gestion durable de la voirie: le cas du Québec

Michèle St-Jacques

► To cite this version:

Michèle St-Jacques. Des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières urbaines dans une perspective de gestion durable de la voirie: le cas du Québec. Génie civil. Université Paris-Est, 2019. Français. NNT: 2019PESC2018 . tel-02390950

HAL Id: tel-02390950

<https://theses.hal.science/tel-02390950>

Submitted on 3 Dec 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ÉCOLE DOCTORALE « VILLE, TRANSPORTS ET TERRITOIRES »

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est

Génie urbain

MICHÈLE ST-JACQUES

**DES AMÉNAGEMENTS ROUTIERS SÉCURITAIRES ET DES TECHNIQUES
ROUTIÈRES URBAINES DANS UNE PERSPECTIVE DE GESTION DURABLE DE LA
VOIRIE : LE CAS DU QUÉBEC**

Thèse dirigée par Youssef DIAB

Soutenue le 16 mai 2019

Jury :

M. François BUYLE-BODIN, Université des Sciences et Technologies de Lille-1, Rapporteur

M. Jean-Pierre CHRISTORY, Invité

M. Youssef DIAB, Université Paris Est - Marne la Vallée, Directeur de thèse

Mme Jocelyne DUBOIS MAURY, Université Paris Est - Créteil, Examineur

Mme Marie LESSARD, Université de Montréal, Rapporteur

REMERCIEMENTS

L'auteure tient à remercier très sincèrement toutes les personnes qui ont rendu possible la réalisation de cette thèse.

Plus particulièrement, merci au professeur Youssef DIAB qui m'a guidée et encouragée à me rendre au bout du processus.

Merci à Mme Evelyne DEHAYNIN, Mme Nathalie LOURENÇO et M. Laurent GAUTRON qui ont patiemment répondu à toutes mes questions.

Merci aux membres du jury de thèse qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner mes travaux de recherche. J'exprime ma profonde gratitude à Mme Jocelyne DUBOIS MAURY, Mme Marie LESSARD, M. François BUYLE-BODIN et M. Jean-Pierre CHRISTORY.

Merci à mes amis Daniel LESSARD, Michel TOUTANT, Gabriel LEFEBVRE, Yannic ÉTHIER, Edmond MIRESCO et Fernando AVENDANO pour leur confiance et leurs encouragements.

Finalement, merci à ma famille qui me pousse à être meilleure parce qu'ils sont meilleurs. Merci à Pierre, Maripier, Pascale, Andrée, Gilles, Guillaume et Pierre-Olivier.

AVANT-PROPOS

J'ai reçu mon diplôme d'ingénieur il y a plus de 30 ans. J'ai travaillé pendant 15 ans pour la firme de génie conseils SNC-Lavalin (autrefois Lavalin) avant de devenir professeure à l'ÉTS (Université du Québec) en 1998. J'ai maintenant le statut de professeure titulaire au département de génie de la construction.

Étant titulaire de deux baccalauréats (Physique et Génie civil) et d'une maîtrise en Génie civil, je n'ai jamais abandonné l'idée d'obtenir le grade de Ph.D. Or, il n'y a pas de Ph.D. au Québec dans mon domaine de spécialités, soit les aménagements routiers. J'ai formé le premier Ph.D. qui se rapproche de ce domaine. Il a gradué, sous ma direction, en janvier 2014. Il a été très difficile de composer un jury d'évaluation pour sa thèse de doctorat et sa soutenance. Les professeurs qui auraient pu m'encadrer au Québec ne détiennent pas de doctorat. Tout comme moi, ils sont détenteurs de maîtrise et habilités à diriger des doctorants. Voilà pourquoi je me suis tournée vers l'École doctorale Ville, Transports et Territoires de l'Université Paris Est pour réaliser ce doctorat.

Mon domaine de recherches fait partie du génie urbain. Il se situe entre le génie civil, l'architecture de paysage et l'urbanisme. Les aménagements routiers, incluant les matériaux qui servent à faire ces aménagements, tiennent compte des milieux urbains traversés et du concept de ville durable. C'est tout ce qui fait qu'une route est belle, confortable et sécuritaire. Cette route est composée de matériaux et de dispositifs physiques qui facilitent la circulation.

La présente thèse n'est pas une thèse traditionnelle. C'est une thèse de Doctorat sur travaux. Réalisée à partir des nombreuses études, des différents projets de recherche et des travaux (conception et implantation) effectués au cours de ma carrière, c'est en quelque sorte un Guide des bonnes pratiques pour réaliser des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières urbaines dans une perspective de gestion durable de la voirie.

DES AMÉNAGEMENTS ROUTIERS SÉCURITAIRES ET DES TECHNIQUES ROUTIÈRES URBAINES DANS UNE PERSPECTIVE DE GESTION DURABLE DE LA VOIRIE : LE CAS DU QUÉBEC

Michèle ST-JACQUES

RÉSUMÉ

Pendant plusieurs années, les aménagements de la voirie urbaine ont été adaptés à un accroissement continu de la circulation automobile avec l'élargissement des emprises roulables et la prédominance du noir des revêtements bitumineux. Or, la route accueille maintenant des usagers variés. Elle doit donc tenir compte de tous ces utilisateurs, leur donner la place qui leur revient et réussir à les faire cohabiter.

La route doit mettre en valeur les territoires qu'elle traverse, tout en répondant à sa mission première qui est de desservir adéquatement les communautés avoisinantes. Il faut concevoir des routes de façon à ce que les conducteurs de véhicules motorisés fassent naturellement ce qu'on attend d'eux. Les revêtements colorés peuvent être utilisés pour créer des ambiances urbaines, renforcer l'identité d'une ville et faciliter la lecture des espaces. Plusieurs nouveaux aménagements routiers, allant des carrefours giratoires aux stationnements en passant par la signalisation et toutes les mesures qui permettent de modérer la circulation, sont à la disposition des concepteurs.

De plus, dans un contexte de développement durable, de nouvelles techniques routières ont fait leur apparition. Parmi celles-ci, en plus des revêtements colorés, il y a les enrobés tièdes.

Cette thèse, basée sur une trentaine d'années de recherches, d'enseignements, de réalisations et d'observations à travers le monde, présente ces nouveaux aménagements routiers et ces nouveaux matériaux.

Mots clés : route, carrefour giratoire, signalisation, sécurité routière, revêtements bitumineux colorés, enrobés tièdes, camionnage, modération de la circulation.

SAFE ROADS AND URBAN ROAD TECHNIQUES FROM A SUSTAINABLE ROAD NETWORK MANAGEMENT PERSPECTIVE: THE QUEBEC CASE

Michèle ST-JACQUES

ABSTRACT

For years, the development and maintenance of urban road systems responded to a continuous increase in automobile traffic by extending the network, with the blacktop for asphalt pavements taking the lead. However, the road now serves a wide variety of users, which it must now satisfy even as it struggles to meet their competing end goals.

The road must enhance the landscape, while adequately serving the surrounding communities. Road design must be realized in a manner that allows drivers to perform what is expected of them naturally. Coloured bituminous surfaces can be used to create urban atmospheres, to reinforce the identity of a city, to facilitate the reading of spaces, to support the cohabitation of different users and to identify different places. Several new road engineering measures, such as roundabouts, parking, traffic signs and traffic calming measures, are now available to urban planners, traffic engineers and road designers.

Furthermore, in the framework of sustainable development, new road techniques have emerged, including coloured bituminous pavements and a variety of warm mix asphalt techniques.

This thesis, which is based on thirty years of research, teaching, accomplishments and observations from around the world, presents these new road management measures and materials.

Key words: road, roundabout, traffic signs, road safety, coloured bituminous pavements, warm mix asphalt, trucking, traffic calming.

TABLE DES MATIÈRES

| | Page |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS | III |
| AVANT-PROPOS | V |
| RÉSUMÉ..... | VII |
| ABSTRACT | IX |
| LISTE DES TABLEAUX..... | XVII |
| LISTE DES FIGURES..... | XIX |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES | XXVII |
| | |
| INTRODUCTION..... | 3 |
| | |
| PARTIE I - ANALYSES | |
| CHAPITRE 1 ANALYSES DE CIRCULATION EN MILIEU URBAIN | 13 |
| 1.0 Introduction | 13 |
| 1.1 Évaluation de la situation actuelle..... | 14 |
| 1.1.1 Caractéristiques géométriques du réseau routier existant | 14 |
| 1.1.2 Dispositifs de régulation de la circulation existants..... | 16 |
| 1.1.3 Circulation actuelle | 17 |
| 1.1.4 Niveaux de service actuels | 19 |
| 1.1.5 Statistiques d'accidents | 20 |
| 1.2 Évaluation de la situation future..... | 24 |
| 1.2.1 Estimation des débits futurs | 24 |
| 1.2.2 Niveaux de service futurs | 27 |
| 1.3 Plans directeurs de circulation..... | 27 |
| 1.4 Logiciels d'analyse des débits de circulation | 28 |
| 1.4.1 Calculs de capacité | 29 |
| 1.4.2 Paramètres relevés sur le terrain..... | 30 |
| 1.4.3 Paramètres calculés | 30 |
| 1.4.4 Comparaison de divers logiciels | 34 |
| 1.4.5 Synthèse des logiciels..... | 41 |
| 1.5 Conclusion..... | 41 |
| | |
| PARTIE II - DISPOSITIFS PHYSIQUES | |
| CHAPITRE 2 CARREFOURS GIRATOIRES | 47 |
| 2.0 Introduction | 47 |
| 2.1 Historique des carrefours giratoires | 47 |
| 2.2 Différences entre carrefour giratoire et rond-point | 48 |
| 2.3 Dimensions des carrefours giratoires | 49 |
| 2.4 Avantages et inconvénients des carrefours giratoires | 51 |
| 2.5 Mise en place de carrefours giratoires au Québec..... | 56 |
| 2.6 Comportement des usagers québécois dans un carrefour giratoire | 57 |
| 2.7 Logiciels de conception..... | 64 |
| 2.8 Autres carrefours circulaires au Québec | 64 |
| 2.8.1 Carrefours circulaires pour routes sans issue | 64 |

| | | |
|---------------------------------|--|-----|
| 2.8.2 | Carrefours circulaires pour demi-tour | 64 |
| 2.9 | Conclusion..... | 65 |
| CHAPITRE 3 SIGNALISATION..... | | 67 |
| 3.0 | Introduction | 67 |
| 3.1 | Signalisation lumineuse (Feux de circulation) | 67 |
| 3.2 | Signalisation horizontale (Marquage) | 73 |
| 3.2.1 | Produits de marquage | 74 |
| 3.2.2 | Marquage sonore | 79 |
| 3.3 | Signalisation verticale | 79 |
| 3.4 | Supersignalisation (signalisation d'indication) | 81 |
| 3.4.1 | Signalisation de destination..... | 81 |
| 3.4.2 | Signalisation de repérage | 81 |
| 3.4.3 | Signalisation d'équipements spécifiques | 82 |
| 3.4.4 | Signalisation d'information..... | 82 |
| 3.4.5 | Signalisation d'équipements touristiques..... | 83 |
| 3.4.6 | Signalisation de services d'essence et de restauration sur autoroute | 83 |
| 3.4.7 | Supersignalisation en milieu urbain | 84 |
| 3.4.8 | Entretien de la supersignalisation..... | 84 |
| 3.4.9 | Panneaux à messages variables | 85 |
| 3.5 | Plaques odonymiques | 86 |
| 3.5.1 | Historique des plaques de nom de rue à Montréal | 87 |
| 3.5.2 | Visibilité des plaques de nom de rue..... | 87 |
| 3.5.3 | Lisibilité des plaques de nom de rue | 88 |
| 3.5.4 | Couleur des plaques de nom de rue..... | 89 |
| 3.5.5 | Localisation des plaques de nom de rue..... | 89 |
| 3.5.6 | Uniformité des plaques odonymiques dans une ville..... | 91 |
| 3.5.7 | Complément d'information sur les plaques de nom de rue | 92 |
| 3.5.8 | Recommandations | 94 |
| 3.6 | Signalisation de travaux | 97 |
| 3.6.1 | Configuration actuelle des balises T-RV-7 | 98 |
| 3.6.2 | Comparaison avec des balises étrangères | 99 |
| 3.6.3 | Comparaison de différentes configurations en laboratoire..... | 100 |
| 3.6.4 | Comparaison de différentes configurations sur le terrain – Phase 1 | 102 |
| 3.6.5 | Comparaison de différentes configurations sur le terrain – Phase 2 | 105 |
| 3.6.6 | Synthèse des résultats obtenus..... | 106 |
| 3.7 | Conclusion..... | 107 |
| CHAPITRE 4 STATIONNEMENTS | | 109 |
| 4.0 | Introduction | 109 |
| 4.1 | Stationnement sur rue..... | 109 |
| 4.1.1 | Stationnement sur rue à angle | 110 |
| 4.1.2 | Stationnement sur rue en parallèle | 111 |
| 4.2 | Stationnement hors-rue | 115 |
| 4.3 | Stationnement pour motos et vélos | 117 |
| 4.4 | Offre et demande en stationnement..... | 118 |
| 4.4.1 | Détermination des besoins en espaces de stationnement | 118 |
| 4.4.2 | Disponibilité des espaces de stationnement actuels | 119 |
| 4.4.3 | Détermination du nombre de places de stationnement à aménager | 119 |

| | | |
|-----|---------------------------|-----|
| 4.5 | Plan de jalonnement | 120 |
| 4.6 | Conclusion..... | 120 |

CHAPITRE 5 MODÉRATION DE LA CIRCULATION EN VILLE..... 123

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.0 | Introduction | 123 |
| 5.1 | Mesures physiques | 123 |
| 5.2 | Entrées de ville | 131 |
| 5.3 | Boulevards urbains..... | 136 |
| 5.3.1 | Aménagements de boulevards urbains au Québec..... | 138 |
| 5.4 | Conclusion..... | 145 |

PARTIE III - TECHNIQUES ROUTIÈRES

CHAPITRE 6 REVÊTEMENTS BITUMINEUX COLORÉS 153

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.0 | Introduction | 153 |
| 6.1 | Techniques de revêtements bitumineux colorés..... | 153 |
| 6.1.1 | Enduits superficiels d'usure | 154 |
| 6.1.2 | Enrobés coulés à froid et Coulis bitumineux | 155 |
| 6.1.3 | Asphaltes colorés..... | 157 |
| 6.1.4 | Enrobés colorés | 158 |
| 6.2 | Composantes d'un revêtement bitumineux coloré..... | 159 |
| 6.2.1 | Granulats | 159 |
| 6.2.2 | Liants..... | 160 |
| 6.2.3 | Colorants | 162 |
| 6.2.4 | Coûts..... | 163 |
| 6.3 | Développement de revêtements bitumineux au Québec | 164 |
| 6.3.1 | Couleurs de granulats disponibles au Québec..... | 164 |
| 6.3.2 | Formulations d'enrobés colorés pour le Québec..... | 166 |
| 6.3.3 | Mise en place d'un enrobé coloré au Québec | 168 |
| 6.4 | Usage urbain des revêtements bitumineux colorés | 169 |
| 6.5 | Avantages des revêtements bitumineux colorés..... | 174 |
| 6.6 | Utilisation dans un cadre de développement durable..... | 175 |
| 6.7 | Durée de vie | 176 |
| 6.8 | Restrictions d'usage | 177 |
| 6.9 | Conclusion..... | 178 |

CHAPITRE 7 TECHNIQUES ROUTIÈRES URBAINES RÉPONDANT AUX CRITÈRES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE..... 181

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.0 | Introduction | 181 |
| 7.1 | Identification des procédés et techniques routières..... | 182 |
| 7.1.1 | Revêtements bitumineux colorés | 182 |
| 7.1.2 | Enrobés tièdes | 182 |
| 7.1.3 | Valorisation des sols en place | 183 |
| 7.1.4 | Réutilisation des matériaux | 183 |
| 7.1.5 | Recyclage à chaud..... | 184 |
| 7.1.6 | Enrobés acoustiques | 184 |
| 7.1.7 | Liants végétaux | 187 |
| 7.1.8 | Recyclage en place à froid | 188 |
| 7.2 | Développement durable dans les chaussées urbaines québécoises | 189 |
| 7.3 | Conclusion..... | 190 |

| | |
|--|-----|
| CHAPITRE 8 ENROBÉS TIÈDES | 193 |
| 8.0 Introduction | 193 |
| 8.1 Début des enrobés tièdes | 193 |
| 8.2 Catégories d'enrobés tièdes..... | 194 |
| 8.2.1 Catégorie A : Modification de la séquence d'enrobage | 194 |
| 8.2.2 Catégorie B : Introduction d'eau ou maîtrise de la teneur en eau | 194 |
| 8.2.3 Catégorie C : Modification de la chimie | 195 |
| 8.3 Formules commerciales d'enrobés tièdes | 195 |
| 8.4 Avantages de l'utilisation des enrobés tièdes..... | 197 |
| 8.5 Performance des enrobés tièdes en chantiers | 198 |
| 8.6 Performance des enrobés tièdes en laboratoires..... | 199 |
| 8.6.1 Essai de détermination du module complexe..... | 200 |
| 8.6.2 Essai de résistance à la fissuration thermique | 200 |
| 8.6.3 Essai d'orniérage | 201 |
| 8.7 Conclusion..... | 202 |

PARTIE IV - MESURES POUR FAVORISER LE TRANSPORT URBAIN

| | |
|--|-----|
| CHAPITRE 9 TRANSPORT ACTIF | 209 |
| 9.0 Introduction | 209 |
| 9.1 Implantation de traverses piétonnes de type Barnes Dance | 209 |
| 9.1.1 Application à Montréal - Étude de cas | 211 |
| 9.1.2 Application au Québec - Cas concrets | 214 |
| 9.2 Aménagements de voies piétonnes | 215 |
| 9.3 Aménagement d'espaces urbains avec équipements sportifs | 220 |
| 9.4 Aménagements de voies cyclables | 221 |
| 9.4.1 Types de voies cyclables | 222 |
| 9.4.2 Voies cyclables sécuritaires | 226 |
| 9.4.3 Voies cyclables utilitaires..... | 228 |
| 9.5 Conclusion..... | 229 |
| CHAPITRE 10 TRANSPORT COLLECTIF | 231 |
| 10.0 Introduction | 231 |
| 10.1 Historique du transport à commun à Montréal | 231 |
| 10.2 Modes de transport collectif populaires en 2019 | 234 |
| 10.2.1 Funiculaire..... | 234 |
| 10.2.2 Métro aérien | 235 |
| 10.2.3 Navette maritime | 236 |
| 10.2.4 Tapis roulant..... | 238 |
| 10.2.5 Train | 239 |
| 10.3 Comparaison entre Montréal et ailleurs dans le monde | 240 |
| 10.3.1 Tramway..... | 240 |
| 10.3.2 Trolleybus..... | 240 |
| 10.3.3 Funiculaire..... | 240 |
| 10.3.4 Métro aérien | 241 |
| 10.3.5 Métro souterrain | 241 |
| 10.3.6 Train | 243 |
| 10.3.7 Conclusion..... | 244 |

| | | |
|--|---|------------|
| 10.4 | Modes de transport collectif innovateurs pour Montréal | 244 |
| 10.4.1 | Tramway aérien..... | 246 |
| 10.4.2 | Straddling bus..... | 247 |
| 10.4.3 | Skytran | 248 |
| 10.5 | Mesures pour favoriser le transport collectif..... | 249 |
| 10.5.1 | Covoiturage | 249 |
| 10.5.2 | Implantation de voies réservées pour le transport collectif..... | 251 |
| 10.6 | Conclusion..... | 253 |
| CHAPITRE 11 CAMIONNAGE | | 255 |
| 11.0 | Introduction | 255 |
| 11.1 | Bruit causé par les véhicules lourds | 255 |
| 11.2 | Vibrations causées par les véhicules lourds | 256 |
| 11.3 | Gabarit des véhicules lourds | 257 |
| 11.4 | Accidents impliquant des camions en milieu urbain..... | 259 |
| 11.5 | Congestion routière | 261 |
| 11.6 | Déformation de la chaussée..... | 262 |
| 11.7 | Nécessité du camionnage en milieu urbain | 264 |
| 11.8 | Pistes de solutions inspirées des expériences étrangères | 265 |
| 11.8.1 | Mise en place de dispositifs de protection latérale, frontale et arrière sur les camions..... | 265 |
| 11.8.2 | Utilisation de rétroviseurs et de caméras réduisant les angles morts des camions..... | 267 |
| 11.8.3 | Amélioration de la visibilité directe du conducteur – Principe de « Direct Vision » | 268 |
| 11.8.4 | Gestion du fret urbain..... | 269 |
| 11.8.5 | Utilisation de camions de plus petit gabarit en milieu urbain | 272 |
| 11.9 | Conclusion..... | 273 |
| CONCLUSION..... | | 279 |
| ANNEXE I LISTE DES DIFFÉRENTS PROJETS RÉALISÉS À L'UNIVERSITÉ (1998-2019) | | 297 |
| ANNEXE II LISTE DES DIFFÉRENTS PROJETS RÉALISÉS DANS L'INDUSTRIE (1982-1998)..... | | 299 |
| LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | | 309 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 331 |

LISTE DES TABLEAUX

| | Page |
|--------------|--|
| Tableau 1.1 | Comparaison des résultats obtenus avec les logiciels HCS et SIDRA 35 |
| Tableau 1.2 | Comparaison des résultats obtenus avec les logiciels HCM/Cinema et SIDRA 37 |
| Tableau 1.3 | Comparaison des résultats obtenus avec les logiciels Synchro/SimTraffic et TSIS/CORSIM 39 |
| Tableau 1.4 | Comparaison des résultats obtenus avec les logiciels HCS2010, HCM/Cinema et Synchro 40 |
| Tableau 2.1 | Fréquence des comportements erratiques observés dans les carrefours giratoires du Québec..... 59 |
| Tableau 4.1 | Dimensions des cases de stationnement selon l'endroit..... 117 |
| Tableau 6.1 | Localisation des différents granulats colorés par région 165 |
| Tableau 8.1 | Formules commerciales d'enrobés tièdes selon le pays..... 196 |
| Tableau 9.1 | Temps de traverse requis par approche pour les piétons..... 213 |
| Tableau 10.1 | Nombre d'utilisateurs du transport en commun à Montréal 245 |
| Tableau 11.1 | Niveaux de bruits mesurés 256 |
| Tableau 11.2 | Dimensions maximales des camions selon les pays..... 257 |
| Tableau 11.3 | Comparaison des chargess des véhicules lourds selon différents pays 263 |
| Tableau 11.4 | Interdictions supplémentaires des véhicules lourds en Île-de-France 270 |

LISTE DES FIGURES

| | Page |
|-------------|---|
| Figure 1.1 | Taux de génération pour un commerce de restauration rapide 26 |
| Figure 1.2 | Variation annuelle des débits 32 |
| Figure 1.3 | Variation journalière et mensuelle des débits 33 |
| Figure 2.1 | Petit giratoire 50 |
| Figure 2.2 | Giratoire intermédiaire 50 |
| Figure 2.3 | Grand giratoire 50 |
| Figure 2.4 | Mini giratoire..... 51 |
| Figure 2.5 | Mini giratoire..... 51 |
| Figure 2.6 | Attrait urbanistique d'un carrefour giratoire..... 52 |
| Figure 2.7 | Aménagement paysager d'un carrefour giratoire 53 |
| Figure 2.8 | Points de conflits selon le type de carrefours 53 |
| Figure 2.9 | Premier carrefour giratoire du Québec 56 |
| Figure 2.10 | Comportement à adopter dans un carrefour giratoire 57 |
| Figure 2.11 | Aménagements provisoires de carrefour giratoire 58 |
| Figure 2.12 | Mauvais comportement d'un piéton 60 |
| Figure 2.13 | Véhicule circulant en sens inverse 60 |
| Figure 2.14 | Signalisation observée dans un carrefour giratoire 61 |
| Figure 2.15 | Signalisation observée dans un carrefour giratoire 61 |
| Figure 2.16 | Signalisation observée dans un carrefour giratoire 62 |
| Figure 2.17 | Signalisation observée dans un carrefour giratoire 62 |
| Figure 2.18 | Signalisation observée dans un carrefour giratoire 62 |
| Figure 2.19 | Carrefour circulaire pour route sans issue..... 64 |
| Figure 2.20 | Carrefour circulaire pour demi-tour 65 |
| Figure 3.1 | Composantes des feux de circulation 69 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Figure 3.2 | Feux à décompte numérique | 70 |
| Figure 3.3 | Feux prioritaires pour le transport en commun | 70 |
| Figure 3.4 | Bouton poussoir pour les piétons | 70 |
| Figure 3.5 | Mouvements permis par voie | 73 |
| Figure 3.6 | Voie de secours | 74 |
| Figure 3.7 | Appareil Ecodyn®..... | 77 |
| Figure 3.8 | Bandes rugueuses en bordure d'autoroute | 79 |
| Figure 3.9 | Signalisation de services d'essence et de restauration | 83 |
| Figure 3.10 | Panneau d'indication schématique | 84 |
| Figure 3.11 | Panneaux à messages variables | 85 |
| Figure 3.12 | État de la circulation sur le réseau autoroutier français..... | 86 |
| Figure 3.13 | État de la circulation sur le réseau autoroutier montréalais..... | 86 |
| Figure 3.14 | Plaque de nom de rue non visible..... | 87 |
| Figure 3.15 | Utilisation de lettres majuscules et minuscules sur une plaque odonymique | 88 |
| Figure 3.16 | Plaque odonymique située du côté droit | 90 |
| Figure 3.17 | Plaque odonymique située du côté gauche..... | 90 |
| Figure 3.18 | Plaque odonymique située au centre de la chaussée..... | 91 |
| Figure 3.19 | Plaques de noms de rue à Montréal et Outremont..... | 91 |
| Figure 3.20 | Changement de noms de rue..... | 92 |
| Figure 3.21 | Information sur le changement de noms de rue..... | 92 |
| Figure 3.22 | Plaques de noms de rue informatives | 93 |
| Figure 3.23 | Plaques de noms de rue bilingues | 93 |
| Figure 3.24 | Plaques de noms de rue informatives | 95 |
| Figure 3.25 | Plaque de nom de rue à Laval | 96 |
| Figure 3.26 | Plaque de nom de rue à Saint-Eustache | 96 |
| Figure 3.27 | Travaux routiers dans la région de Montréal | 97 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figure 3.28 | Caricatures sur les travaux routiers à Montréal..... | 98 |
| Figure 3.29 | Balises T-RV-7, T-RV-8 et T-RV-9 | 98 |
| Figure 3.30 | Configuration actuelle de la balise T-RV-7 | 99 |
| Figure 3.31 | Deux configurations testées en laboratoire | 101 |
| Figure 3.32 | Meilleures configurations testées en laboratoire | 102 |
| Figure 3.33 | Deux configurations testées sur le terrain lors de la Phase 1 | 103 |
| Figure 3.34 | Rue Pullman | 104 |
| Figure 3.35 | Pellicule blanche type III vs type II | 105 |
| Figure 3.36 | Pellicules neuves vs pellicules usées..... | 107 |
| Figure 4.1 | Stationnement à angle vs stationnement en parallèle..... | 110 |
| Figure 4.2 | Stationnement sur rue à angle | 111 |
| Figure 4.3 | Stationnement sur rue à angle | 111 |
| Figure 4.4 | Stationnement sur rue étroite..... | 112 |
| Figure 4.5 | Stationnement à proximité d'une piste cyclable | 112 |
| Figure 4.6 | Stationnement surélevé sur rue | 112 |
| Figure 4.7 | Stationnement sur voie dédiée..... | 113 |
| Figure 4.8 | Stationnement courant vs stationnement jumelé..... | 114 |
| Figure 4.9 | Stationnement en parallèle jumelé | 114 |
| Figure 4.10 | Stationnement sur rue dans les deux sens | 115 |
| Figure 4.11 | Largeur des cases de stationnement France vs Québec..... | 116 |
| Figure 4.12 | Stationnements pour motos | 117 |
| Figure 4.13 | Stationnement pour vélo avec remorque | 118 |
| Figure 4.14 | Disponibilité des espaces de stationnement dans le secteur..... | 120 |
| Figure 4.15 | Utilisation des espaces de stationnement comme modérateur de la circulation..... | 121 |
| Figure 5.1 | Îlot planté ralentisseur | 125 |
| Figure 5.2 | Voies par paliers..... | 126 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figure 5.3 | Avancée de trottoir | 126 |
| Figure 5.4 | Réduction de la largeur des voies de circulation..... | 127 |
| Figure 5.5 | Plantation d'arbres et de végétation | 127 |
| Figure 5.6 | Chicane..... | 128 |
| Figure 5.7 | Déviation de l'axe de la route | 129 |
| Figure 5.8 | Bande d'alerte transversale | 129 |
| Figure 5.9 | Plateau surélevé..... | 130 |
| Figure 5.10 | Passage pour piétons surélevé | 131 |
| Figure 5.11 | Avancée de végétation | 131 |
| Figure 5.12 | Insertion d'îlots | 132 |
| Figure 5.13 | Décalage latéral de la chaussée | 133 |
| Figure 5.14 | Bandes d'alertes transversales | 133 |
| Figure 5.15 | Utilisation de végétaux..... | 134 |
| Figure 5.16 | Utilisation d'éléments architecturaux | 134 |
| Figure 5.17 | Zone scolaire invitant à la vitesse | 135 |
| Figure 5.18 | Avancées de trottoir sur la rue Galt Ouest | 140 |
| Figure 5.19 | Boulevard René-Lévesque Est à l'origine | 141 |
| Figure 5.20 | Boulevard René-Lévesque Est sur deux niveaux..... | 142 |
| Figure 5.21 | Boulevard René-Lévesque Est sur un niveau..... | 143 |
| Figure 5.22 | Zone protégée pour piétons et cyclistes | 144 |
| Figure 5.23 | Boulevard René-Lévesque Est réaménagé..... | 145 |
| Figure 5.24 | Piétons sur un boulevard urbain | 147 |
| Figure 6.1 | Enduit superficiel d'usure | 154 |
| Figure 6.2 | Enrobé coulé à froid de couleur rouge | 156 |
| Figure 6.3 | Enrobé coulé à froid de couleur verte | 157 |
| Figure 6.4 | Asphalte coloré..... | 158 |
| Figure 6.5 | Enrobé coloré | 159 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figure 6.6 | Bonne intégration du trottoir dans son environnement | 160 |
| Figure 6.7 | Bitume de synthèse..... | 162 |
| Figure 6.8 | Pigment d'oxyde de fer | 162 |
| Figure 6.9 | Pigments de différentes couleurs..... | 163 |
| Figure 6.10 | Régions administratives du Québec | 166 |
| Figure 6.11 | Granulats retenus..... | 167 |
| Figure 6.12 | Briquettes des 4 mélanges d'enrobés colorés..... | 167 |
| Figure 6.13 | Coupe de l'enrobé utilisé | 169 |
| Figure 6.14 | Mise en place de l'enrobé coloré à Sherbrooke | 169 |
| Figure 6.15 | Chaussée entière en revêtement bitumineux coloré | 170 |
| Figure 6.16 | Terre-plein en revêtement bitumineux coloré | 170 |
| Figure 6.17 | Accotements en revêtements bitumineux colorés | 171 |
| Figure 6.18 | Voie de tag en revêtement bitumineux coloré..... | 171 |
| Figure 6.19 | Délimitation des voies en revêtements bitumineux colorés | 172 |
| Figure 6.20 | Ralentisseur de trafic en revêtement bitumineux coloré | 172 |
| Figure 6.21 | Piste cyclable en revêtement bitumineux coloré | 173 |
| Figure 6.22 | Tunnel en revêtement bitumineux coloré..... | 173 |
| Figure 6.23 | Stationnement en revêtement bitumineux coloré | 174 |
| Figure 6.24 | Ornières sur revêtement bitumineux coloré vs noir | 175 |
| Figure 6.25 | Dépôts de gomme sur revêtement bitumineux coloré | 177 |
| Figure 6.26 | Réparations sur revêtement bitumineux coloré..... | 178 |
| Figure 7.1 | Enrobé très mince | 186 |
| Figure 7.2 | Enrobé drainant | 186 |
| Figure 7.3 | Liant végétal | 188 |
| Figure 7.4 | Recyclage en place à froid | 189 |
| Figure 8.1 | Fumée provenant d'un enrobé à chaud traditionnel | 197 |
| Figure 8.2 | Fumée provenant des différents enrobés | 197 |

XXIV

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figure 8.3 | Essai de module complexe | 200 |
| Figure 8.4 | Essai TSRST | 201 |
| Figure 8.5 | Essai d'orniérage | 201 |
| Figure 9.1 | Mouvements piétonniers permis lors de la phase Barnes Dance | 210 |
| Figure 9.2 | Marquage pour la phase Barnes Dance | 210 |
| Figure 9.3 | Traverse de type Barnes Dance à Tokyo..... | 211 |
| Figure 9.4 | Conflits entre les piétons et les véhicules..... | 212 |
| Figure 9.5 | Voie piétonne au centre de la chaussée à Barcelone | 216 |
| Figure 9.6 | Voie piétonne au centre de la chaussée à Nîmes..... | 217 |
| Figure 9.7 | Voie piétonne au centre de la chaussée à Lisbonne | 217 |
| Figure 9.8 | Promenade du boulevard René-Lepage à Rimouski | 218 |
| Figure 9.9 | Promenade des Anglais à Nice..... | 218 |
| Figure 9.10 | Revêtement à motifs à Québec..... | 219 |
| Figure 9.11 | Revêtement à motifs à Lisbonne | 219 |
| Figure 9.12 | Revêtement à motifs à Barcelone..... | 220 |
| Figure 9.13 | Sentier avec équipements sportifs en bordure de la voie piétonne | 220 |
| Figure 9.14 | Équipements sportifs à Figueira da Foz | 221 |
| Figure 9.15 | Équipements sportifs à Aveiro | 221 |
| Figure 9.16 | Chaussées désignées..... | 223 |
| Figure 9.17 | Bandes cyclables | 224 |
| Figure 9.18 | Accotement revêtu désigné comme voie cyclable | 225 |
| Figure 9.19 | Piste cyclable..... | 225 |
| Figure 9.20 | Cycliste visible | 226 |
| Figure 9.21 | Voies cyclables à Montréal | 227 |
| Figure 9.22 | Sas pour deux roues..... | 227 |
| Figure 9.23 | Prolongement de voie cyclable dans le carrefour | 228 |
| Figure 9.24 | Voies cyclables séparées des véhicules motorisés | 229 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figure 10.1 | Funiculaire du Vieux-Québec | 234 |
| Figure 10.2 | Funiculaire du Mont-Royal | 235 |
| Figure 10.3 | Funiculaire de la tour du Stade Olympique..... | 235 |
| Figure 10.4 | Monorail Expo 67..... | 236 |
| Figure 10.5 | Navette Québec - Lévis | 237 |
| Figure 10.6 | Navette Vieux-Port de Montréal - Longueuil | 237 |
| Figure 10.7 | Tapis roulant Métro Beaudry | 238 |
| Figure 10.8 | Tapis roulant Université de Montréal | 239 |
| Figure 10.9 | SkyTrain de Vancouver..... | 241 |
| Figure 10.10 | Métro de Paris | 242 |
| Figure 10.11 | Métro de New-York | 242 |
| Figure 10.12 | Métro de Montréal | 243 |
| Figure 10.13 | Ligne de tramway à Paris | 245 |
| Figure 10.14 | Ligne de tramway à Dijon | 246 |
| Figure 10.15 | Ligne de tramway à Bilbao | 246 |
| Figure 10.16 | Tramway aérien Porto | 247 |
| Figure 10.17 | Straddling bus | 247 |
| Figure 10.18 | Accès au straddling bus | 248 |
| Figure 10.19 | Skytran | 249 |
| Figure 10.20 | Voie réservée sur autoroute..... | 252 |
| Figure 10.21 | Voie réservée en milieu urbain | 253 |
| Figure 10.22 | Occupation du sol selon le mode de transport | 254 |
| Figure 11.1 | Véhicule lourd articulé (Nantes) | 258 |
| Figure 11.2 | Véhicule lourd articulé (Montréal)..... | 258 |
| Figure 11.3 | Comparatif des cabines européenne et canadienne | 258 |
| Figure 11.4 | Manœuvre de virage d'un camion au centre-ville de Montréal | 259 |
| Figure 11.5 | Angles morts des camions..... | 260 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figure 11.6 | Type de véhicule impliqué dans les accidents graves de cyclistes ou piétons | 261 |
| Figure 11.7 | Type de véhicule impliqué dans les accidents mortels de cyclistes ou piétons | 261 |
| Figure 11.8 | Camions circulant dans toutes les voies au Québec | 262 |
| Figure 11.9 | Présence d'ornières sur la chaussée | 264 |
| Figure 11.10 | Barre de protection latérale rigide sous un camion | 265 |
| Figure 11.11 | Camion équipé de protections latérales..... | 266 |
| Figure 11.12 | Camion équipé d'un dispositif aérodynamique..... | 266 |
| Figure 11.13 | Protection contre l'encastrement située à l'arrière d'un camion..... | 267 |
| Figure 11.14 | Autobus appliquant le principe de « Direct Vision » | 269 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

| | |
|-------|--|
| AMT | Agence métropolitaine de transport |
| AQTr | Association québécoise du transport et des routes |
| ASCE | American Society of Civil Engineers |
| ASTM | American Standard for Testing and Material |
| ATC | Association des transports du Canada |
| BB | Béton bitumineux |
| BBM | Béton bitumineux mince |
| BBTM | Béton bitumineux très mince |
| BNQ | Bureau de normalisation du Québec |
| CBD | Centre d'affaires principal (Central Business District) |
| CERIU | Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines |
| CERTU | Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (ex CETUR) |
| CETUR | Centre d'études des transports urbains |
| CLSC | Centre local de services communautaires |
| CMM | Communauté métropolitaine de Montréal |
| COV | Composés organiques volatils |
| CTAA | Canadian Technical Asphalt Association |
| DJMA | Débit journalier moyen annuel |
| DMS | Dommmages matériels seulement |
| DSR | Diagnostic de la sécurité routière |
| ECF | Enrobé coulé à froid |
| ESG | Enrobé semi-grenu |
| ESU | Enduits superficiels d'usure |
| ÉTS | École de technologie supérieure |
| FHWA | Federal Highway Administration |
| FPI | Facteur de pointe instantanée |
| GBR | Granulat bitumineux récupéré |
| GES | Gaz à effet de serre |
| HCM | Highway Capacity Manual |
| HCS | Highway Capacity System |
| IAU | Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France (IAU) |

XXVIII

| | |
|---------|--|
| IFSTTAR | Institut français des sciences et techniques des transports, de l'aménagement et des réseaux |
| ISBR | Institut Belge pour la Sécurité Routière |
| ITE | Institute of Transportation Engineers |
| LC | Laboratoire des chaussées |
| LCPC | Laboratoire Central des Ponts et Chaussées |
| MTQ | Ministère des Transports du Québec |
| PFF | Peak Flow Factor |
| PHF | Peak Hour Factor |
| RGRA | Revue générale des routes et de l'aménagement |
| RTM | Réseau de transport métropolitain |
| SAAQ | Société de l'assurance automobile du Québec |
| SARCEL | Stationner à reculons, c'est logique ! |
| SCGC | Société canadienne de génie civil |
| SETRA | Service d'études techniques des routes et des autoroutes |
| TAD | Tourne-à-droite |
| TAG | Tourne-à-gauche |
| TRB | Transportation Research Board |
| TSRST | Thermal Stress Restrained Specimen Test (essai de retrait thermique empêché) |
| USA | États-Unis d'Amérique |
| U.V.P. | Unité de véhicule particulier ou unité de voiture particulière |
| VDFR | Virage à droite au feu rouge |

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Jusqu'à tout récemment, les routes étaient toujours construites dans le but d'assurer le meilleur niveau de service et la fluidité de la circulation. Or, la route accueille maintenant divers usagers: piétons, cyclistes, automobilistes, camionneurs, utilisateurs du transport en commun. Elle doit donc tenir compte de tous ces usagers, leur donner la place qui leur revient et, surtout, réussir à les faire cohabiter tout en assurant leur sécurité.

Selon Christian Leyrit (RGRA, 1995), la route n'est pas qu'un ruban avec un ensemble de services, c'est aussi un objet culturel qui a une histoire. La route doit donc être bien intégrée dans l'environnement et mettre en valeur les territoires qu'elle traverse tout en répondant à sa mission première qui est de desservir adéquatement les communautés avoisinantes.

Ainsi, lors de la conception ou du réaménagement géométrique d'une route, il faut désormais tenir compte de l'environnement, puisque la route en fait partie. L'environnement est ici pris dans un sens large puisqu'il regroupe des facteurs sociaux, biophysiques, humains, écologiques, visuels et historiques (CETUR, 1990a). La construction d'une route doit donc faire l'objet d'une approche globale qui intègre à la fois l'environnement, l'urbanisme, l'aménagement du territoire et la complémentarité des modes de transport (RGRA, 1995).

La route peut être belle. Elle est la première image que les conducteurs ont de la ville. Lors de la conception ou reconstruction d'une route, principalement en milieu urbain, il faut essayer de créer une « ambiance » pour influencer le comportement des divers usagers de la route et ainsi assurer leur sécurité. La sécurité routière est un problème majeur de société (RGRA, 1995). Un usager doit pouvoir circuler sur une route qui lui offre un maximum de confort dans des conditions optimales de sécurité (RGRA, 1995). Il faut donc concevoir des routes de façon à ce que les conducteurs de véhicules motorisés fassent naturellement ce qu'on attend d'eux. Ceci est possible en apportant un traitement particulier au profil en travers de la route. Le traitement des trajectoires est un outil de base pour l'aménagement urbain et le contrôle des comportements des usagers de la route (CETUR, 1990a).

Plusieurs nouveaux aménagements routiers sont à la disposition des concepteurs. Ces aménagements vont des carrefours giratoires aux stationnements en passant par la signalisation et toutes les mesures qui permettent de modérer la circulation, aussi appelées traffic calming. Crouse (2004) précise toutefois que ce n'est pas le trafic qu'il faut calmer mais plutôt les gens.

Pour chaque projet routier, il faut définir des objectifs d'aménagement qui tiennent compte de la circulation, de l'accessibilité, du stationnement, de la sécurité, de l'environnement, du milieu et, aussi, des riverains. Il faut optimiser le tracé pour offrir une valorisation maximale de l'espace public (CETUR, 1990a). L'accord de tous les individus concernés par le projet (élus, gestionnaires de la voie, citoyens, usagers, riverains) est essentiel. Le concepteur routier ne peut plus imposer ses aménagements sans consulter les personnes concernées au préalable.

Jusque dans les années 1990, et même encore de nos jours dans certaines municipalités, les aménagements de la voirie urbaine ont été adaptés à un accroissement continu de la circulation automobile avec l'élargissement des emprises roulables et la prédominance du noir des revêtements bitumineux. Or, les concepteurs routiers doivent maintenant viser un meilleur équilibre des divers modes de déplacement et un meilleur partage de l'espace public au bénéfice de la vie locale et des divers usagers de la route (CETUR, 1990a). Cela permet ainsi une plus grande acceptation du projet auprès de la population, une augmentation du sentiment de sécurité et des déplacements actifs, ainsi qu'une réduction des gaz à effet de serre (Sousa et Rosales, 2010).

Cette nouvelle façon de concevoir les routes en milieu urbain semble avoir débuté aux Pays-Bas dans les années 1960. Des résidents de Delft en Hollande avaient alors réaménagé des rues résidentielles afin de diminuer le trafic de transit sur ces rues (Crevier, 2007). En France, c'est le programme interministériel français « Ville plus sûre, Quartiers sans accidents », lancé en 1984, qui a modifié la façon de concevoir des routes en milieu urbain. Ce programme, qui avait notamment comme objectifs d'organiser les déplacements motorisés en fonction de la vie urbaine et d'influencer le comportement des conducteurs par divers aménagements sur le territoire traversé, a permis de réduire le nombre moyen annuel d'accidents corporels de plus de 60% (CETUR, 1990a). C'est en s'inspirant de ce programme que les premiers boulevards urbains ont été aménagés au Québec dans les années 1990 (St-Jacques et Bourque, 2001).

Plusieurs auteurs confirment que les mesures de traffic calming, en plus de réduire la vitesse des véhicules motorisés, permettent de réduire le nombre d'accidents, et leur sévérité, de 30 à 82% selon le type de mesure de modération de la circulation utilisée et l'endroit où cette mesure est implantée (Bared, 1997; Zein et al., 1997; Myers, 1999; Flannery, 2001; Retting et al., 2001; Adam, 2002; Jacquemart, 2002; Novellas, 2002; Leden et al., 2006; Stout et al., 2006; Clara

Fang et al., 2007; Hallmark et al., 2008; Grundy et al., 2009; Garcia et al., 2012; Jiang et al., 2014).

En plus des divers dispositifs physiques (notamment les carrefours giratoires, stationnements, îlots plantés ralentisseurs, chicanes, dos d'âne, coussins berlinois, plateaux surélevés, avancées de trottoir, refuges pour piétons, bandes d'alerte transversales, déviations horizontales ou verticales) qui peuvent être aménagés pour faciliter le partage de la route, le concepteur routier peut avoir recours à de nouvelles techniques routières.

Ainsi, des revêtements colorés, plutôt que des revêtements bitumineux noirs traditionnels, peuvent être utilisés pour bien identifier les différents espaces. Les revêtements colorés permettent de créer des ambiances urbaines, renforcer l'identité d'une ville, faciliter la lecture des espaces, favoriser la cohabitation des différents usagers de la route et identifier les lieux (St-Jacques, 2009a).

Dans un contexte de développement durable, plusieurs preneurs de décisions ont fait de la préservation de l'environnement et de la maîtrise des ressources énergétiques une priorité au cours des dernières années, autant en Europe qu'en Amérique. Ainsi, de nouvelles techniques routières ont fait leur apparition. Parmi ces techniques figurent les revêtements bitumineux colorés et les enrobés tièdes. Les enrobés tièdes permettent, grâce à différents procédés et/ou adjuvants, une réduction des températures de malaxage et de pose du matériau de l'ordre de 20°C à 50°C par rapport aux enrobés à chaud traditionnels. L'économie d'énergie subséquente est donc, en théorie, particulièrement appréciable à l'échelle des millions de tonnes d'enrobés produites sur la planète (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).

Cette thèse a pour but de présenter ces nouveaux aménagements routiers, qui peuvent augmenter la sécurité des usagers de la route, et ces nouvelles techniques routières qui sont plus respectueuses de l'environnement.

Cette thèse est très différente des thèses conventionnelles. Elle ne traite pas d'un seul sujet de façon très pointue mais plutôt d'un ensemble de sujets allant de l'analyse de la circulation au transport urbain en passant par les carrefours giratoires, la signalisation, la modération de la circulation, les revêtements bitumineux colorés, les techniques routières dites durables et les enrobés tièdes. Bien que ces sujets semblent très différents, ils sont tous reliés car ce sont tous des composantes de la route. Soit ce sont des éléments de géométrie, soit ce sont des matériaux

utilisés pour concevoir la route, soit ce sont des dispositifs ou aménagements pour faciliter la circulation sur la route et la rendre sécuritaire.

En 2019, il faut considérer la route dans sa globalité et non plus par spécialités. Ainsi si, dès le départ, les besoins sont définis et que l'on veut que la route à construire ou à réaménager soit sécuritaire, réponde aux critères de gestion durable et aux besoins du milieu, il faut penser de façon globale et se poser les questions suivantes :

- 1- À qui servira cette route? Quels seront les usagers?
- 2- Veut-on en faire une route de transit ou une route qui s'intègre bien au milieu urbain traversé?

Si la réponse est de faire une route qui s'intègre bien au milieu urbain traversé, il faut faire en sorte que chaque usager de la route y trouve sa place. Que la route soit aménagée de façon à ce que l'usager fasse naturellement ce qu'on attend de lui. Cela signifie que :

- le conducteur roulera confortablement à la vitesse affichée;
- le cycliste pourra se rendre directement et sécuritairement là où il veut aller;
- le piéton aura sa place et celle-ci sera agréable;
- les usagers du transport collectif pourront circuler sans trop d'entraves.

Les besoins des riverains, qu'ils soient résidents ou commerçants, doivent aussi être pris en considération. Il faut notamment leur offrir des espaces de stationnement; augmenter leur qualité de vie par l'aménagement d'une route plus verte, plus belle, plus « humaine » en incitant, par exemple, une partie des usagers actuels du réseau routier à utiliser un autre mode de transport, actif ou collectif, qui aura des avantages par rapport à l'utilisation de l'automobile en solo.

Pour réaliser une telle route, il peut être nécessaire d'utiliser des matériaux particuliers afin de rehausser le confort et la sécurité des usagers, respecter l'environnement, réduire le bruit du trafic routier ou tout simplement embellir la route.

Le but de cette thèse est de présenter tous les éléments qui composent la route et qui doivent être pris en considération afin que tous les utilisateurs de la route puissent cohabiter en sécurité et dans le respect de l'environnement. Une multitude de sujets fait l'objet de cette thèse mais

tous ces sujets sont reliés car ils ne sont qu'un à la fin, soit « *l'espace de roulement, dans son ensemble, sur lequel on circule* ».

Ainsi, afin de définir et concevoir cet espace de roulement, il faut d'abord bien connaître l'état de la situation actuelle et identifier les usagers du réseau routier. Il faut déterminer les buts et objectifs de la future route ou de la route à réaménager. Le concepteur ne doit plus nécessairement offrir le meilleur niveau de service et la plus grande fluidité aux véhicules motorisés mais plutôt s'assurer que tous les utilisateurs du réseau pourront « cohabiter » en sécurité.

Une fois ces analyses terminées, le concepteur peut penser aux différents dispositifs physiques qu'il doit mettre en place sur sa route pour rencontrer les buts et objectifs préalablement identifiés, soit :

- le type de carrefour pour assurer la croisée sécuritaire des autres routes du secteur;
- la signalisation pour faciliter la circulation des usagers de la route;
- les espaces de stationnement pour permettre la viabilité des commerces et offrir des places suffisantes aux résidents du secteur et à leurs visiteurs;
- les mesures de modération de la circulation pour forcer les utilisateurs du réseau à circuler à la vitesse retenue.

Pour l'aider dans sa conception et tenir compte de l'environnement, différentes techniques routières modernes dites « vertes » peuvent être retenues au niveau du revêtement de la route. Ainsi, le concepteur peut utiliser :

- des revêtements bitumineux colorés pour délimiter les différents espaces et réduire les îlots de chaleur;
- des enrobés phoniques pour réduire le bruit dû à la circulation routière;
- des enrobés tièdes afin d'économiser l'énergie.

Des outils existent pour créer des aménagements qui favorisent la coexistence des divers usagers de la route. De plus, en retirant des automobilistes du réseau routier, au profit du transport collectif ou actif, cela permet de récupérer de l'espace pour les autres utilisateurs en plus de réduire les îlots de chaleur. Des voies piétonnes et cyclables remplies créent de l'animation en milieu urbain. Le concepteur routier doit donc aussi trouver une façon de favoriser ces transferts modaux.

C'est de tout cela que la présente thèse traite. Afin de bien voir le cheminement à suivre lors de la conception, la thèse est divisée en quatre parties et totalise onze chapitres.

La première partie est consacrée à toutes les analyses qui doivent être réalisées lors de tout projet de conception routière (Chapitre 1). Ces analyses consistent d'abord en l'évaluation de la situation actuelle (usagers du réseau routier, milieu, géométrie, circulation, capacité, niveaux de service et statistiques d'accidents) afin de bien connaître le territoire à l'étude et, surtout, de bien identifier le problème. Suite à ces analyses, il est possible de dresser un portrait de la situation future selon les nouveaux aménagements proposés et les nouveaux développements planifiés s'il y en a (génération des déplacements et impacts sur la circulation). Le Chapitre 1 traite aussi des Plans directeurs de circulation. À la fin du Chapitre, une critique est faite sur les divers logiciels mis à la disposition des concepteurs québécois pour réaliser ces diverses analyses.

La seconde partie de la thèse concerne les différents dispositifs physiques qui peuvent être utilisés par le concepteur routier pour améliorer la sécurité routière. Parmi ceux-ci, il y a les carrefours giratoires (Chapitre 2); la signalisation (signalisation lumineuse, signalisation horizontale, signalisation verticale, supersignalisation, toponymie des noms de rue et signalisation de travaux) (Chapitre 3); les stationnements (Chapitre 4); et les différentes mesures de modération de la circulation en milieu urbain (Chapitre 5).

La troisième partie de la thèse présente deux nouvelles techniques routières qui répondent aux critères de développement durable. Selon le rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Brundtland, 1987), le développement durable consiste en « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Au Québec, la *Loi sur le développement durable* (Assemblée nationale du Québec, 2006) reprend la définition du rapport Brundtland (1987) et ajoute « le développement durable s'appuie sur une vision à long terme qui prend en compte le caractère indissociable des dimensions environnementale, sociale et économique des activités de développement ». Les revêtements bitumineux colorés (Chapitre 6) et certaines techniques routières urbaines (Chapitre 7), dont les enrobés tièdes (Chapitre 8), offrent de nombreux avantages et répondent à ces critères.

Finalement, la quatrième et dernière partie de la thèse fait référence à diverses mesures que les municipalités peuvent mettre en place pour favoriser le transport urbain sur leur territoire, tant

au niveau du transport actif (Chapitre 9), qu'aux niveaux du transport collectif (Chapitre 10) et du camionnage (Chapitre 11). Ces mesures ont pour but de réduire le nombre de véhicules particuliers motorisés sur les routes; d'améliorer la sécurité des piétons et des cyclistes; et de diminuer les problèmes reliés au camionnage en milieu urbain.

Cette thèse est donc une contribution à l'avancement des connaissances pour des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières urbaines dans une perspective de gestion durable de la voirie.

Basée sur plus de trente ans d'expériences, d'études, de lectures, d'enseignements, d'observations à travers le monde et de réalisations de projets (Annexes I et II), c'est en quelque sorte un « Guide des bonnes pratiques pour réaliser des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières urbaines dans une perspective de gestion durable de la voirie ».

PARTIE I

ANALYSES

CHAPITRE 1 : ANALYSES DE CIRCULATION EN MILIEU URBAIN

CHAPITRE 1

ANALYSES DE CIRCULATION EN MILIEU URBAIN

1.0 Introduction

Lors de tout projet routier en milieu urbain, il faut optimiser le tracé afin d'offrir une valorisation maximale de l'espace public (CETUR, 1990a). Il faut définir des objectifs d'aménagement qui tiennent compte de la circulation, de l'accessibilité, du stationnement, de la sécurité, de l'environnement, du milieu et, aussi, des riverains. Pour ce faire, diverses analyses doivent être réalisées.

Peu importe le type d'aménagement routier à réaliser, les étapes de réalisation sont toujours les mêmes: recueil des données de base; analyses et diagnostic; conception et réalisation. Une des principales étapes est celle de la collecte des données. Si cette étape est mal faite, le projet pourra être mal réalisé car le problème pourra être mal défini et donc mal solutionné. Les données de base c'est ce qu'il y a de plus important en aménagement routier. Ce sont les données de conception (St-Jacques, 2017a).

À partir des données recueillies, les analyses peuvent commencer. Ce premier chapitre est consacré à toutes les analyses qui doivent être réalisées lors de tout projet de conception routière. Ces analyses consistent d'abord en l'évaluation de la situation actuelle (usagers du réseau routier, type de milieu, géométrie, circulation, capacité, niveaux de service et statistiques d'accidents) afin de bien connaître le territoire à l'étude et, surtout, de bien identifier le problème. Il faut déterminer quels sont les débits de circulation actuels et quels seront les débits de circulation futurs si de nouveaux développements sont prévus dans le secteur. Quels sont les géométries actuelles du secteur et les types de contrôle existants? À partir de ces informations, les niveaux de service actuels et futurs peuvent être calculés (St-Jacques, 1995a).

Il est possible de dresser un portrait de la situation future selon les nouveaux aménagements proposés et les nouveaux développements planifiés en estimant la génération des déplacements et en mesurant leurs impacts sur la circulation.

Le Chapitre 1 traite de ces différentes analyses et parle aussi des Plans directeurs de circulation qui peuvent être réalisés. Une critique sur les divers logiciels mis à la disposition des concepteurs routiers québécois pour réaliser ces diverses analyses est présentée à la fin du Chapitre.

1.1 Évaluation de la situation actuelle

La première étape d'une étude de circulation consiste à connaître l'état de la situation actuelle. Il faut donc faire des relevés précis et complets sur le terrain aux niveaux :

- de la géométrie;
- des dispositifs de contrôle;
- de la circulation.

Ces données recueillies sur le terrain permettent de dresser un bilan de la situation actuelle des déplacements sur les principales voies de circulation du secteur à l'étude en faisant des analyses de capacité et de détermination des niveaux de service selon la géométrie et les dispositifs de contrôle en place.

Parallèlement, des démarches peuvent être faites afin d'obtenir les statistiques d'accidents dans le secteur à l'étude.

1.1.1 Caractéristiques géométriques du réseau routier existant

La première évaluation à faire sur le terrain concerne les caractéristiques géométriques du réseau routier existant. Il faut relever avec précisions toutes les caractéristiques géométriques du secteur à l'étude. Ainsi, pour les différentes routes à l'étude, il faut spécifier (St-Jacques, 2017a) :

- le type de milieu, soit urbain, suburbain (aussi appelé périurbain), rural ou centre d'affaires principal (CBD);
- le type de route (nationale, régionale, collectrice, locale);
- le type de chaussées (partagées, séparées);

- le nombre de voies par direction et les mouvements de circulation permis par voie;
- la largeur de chacune des voies de circulation et le type de véhicule autorisé par voie;
- la largeur des accotements et leur état (revêtu, en gravier, engazonné);
- le dégagement latéral entre le bord de la voie et un obstacle (trottoir, glissière de sécurité, arbre ou autre) situé aux abords de la route;
- le type de carrefour (carrefour à trois branches, carrefour à quatre branches, carrefour à branches multiples (5 branches ou plus), giratoire, rond-point ou autre carrefour circulaire);
- la vitesse de base, soit la vitesse de conception de la route correspondant à la vitesse continue la plus élevée à laquelle un véhicule peut circuler en toute sécurité lorsque les conditions météorologiques sont des plus favorables et que la densité de la circulation est très peu élevée;
- la vitesse affichée, soit la vitesse de circulation permise;
- le profil du terrain, soit la géométrie générale de l'axe d'une route ou d'une rue en relation avec la topographie du terrain (profil de plaine, profil vallonné, profil montagneux, pente soutenue);
- la présence d'arrêts d'autobus sur le réseau à l'étude, les différents circuits d'autobus y passant et la fréquence de leurs arrêts;
- la présence d'espaces de stationnement sur rue dans le secteur étudié (localisation exacte; dimensions des différents espaces; réglementation et tarification du stationnement);
- la présence d'une piste cyclable à même la chaussée (localisation, largeur des voies);

- la présence de tout autre facteur de ralentissement dans le secteur (passage de train à proximité, école, parc, pont levis, ou autre).

1.1.2 Dispositifs de régulation de la circulation existants

Lorsque toutes les caractéristiques géométriques ont été relevées, il faut ensuite recenser les intersections signalisées, les traverses piétonnes signalisées et l'ensemble des règles et des codes qui régissent l'écoulement de la circulation dans le secteur étudié.

Pour chacun des carrefours, il faut préciser (St-Jacques, 2017a) :

- le type de dispositif de régulation de la circulation à chacun des carrefours à l'étude (règle de priorité à droite; Cédez le passage; STOP doubles; STOP multiples; feux de circulation);
- le cycle du feu de circulation, soit le temps total exprimé en secondes pour couvrir l'ensemble des phases;
- les différentes phases du feu (intervalles de temps alloués à des mouvements de circulation ou de piétons précis);
- les intervalles (durée pendant laquelle le message affiché ne change pas) des feux vert et jaune pour chacune des phases;
- la présence d'une phase particulière de tout rouge, permettant de dégager un carrefour, et sa durée;
- le temps, pour chacune des approches, que prennent les premiers véhicules à réagir et avancer lorsque le feu passe au vert;
- le temps, pour chaque approche et/ou phase, pris sur le feu jaune pour continuer d'avancer;

- le nombre de véhicules qui attendent plus d'un cycle pour pouvoir traverser l'intersection, soit le nombre de véhicules qui doivent s'immobiliser lorsque le feu passe au rouge;
- le temps pris par les piétons pour traverser chacune des approches en distinguant le type de piétons, soit les piétons lents (enfants, personne âgées, personnes à mobilité réduite) et les piétons rapides;
- la présence de boucles de détection pour les véhicules provenant de la rue secondaire et/ou les véhicules désirant faire des manœuvres de virages à gauche depuis la rue principale;
- la présence de détecteurs OpticomTM pour les véhicules d'urgence.

1.1.3 Circulation actuelle

Afin de compléter les données à recenser sur le terrain, il faut mesurer les débits de circulation actuels sur le réseau à l'étude. Pour ce faire, des comptages manuels détaillés doivent être réalisés durant les différentes périodes de pointe de la journée.

Afin d'avoir un portrait global de la circulation actuelle, il peut être utile de réaliser des comptages à différentes périodes de la journée (St-Jacques, 2017a), soit :

- en période de pointe du matin;
- en période de pointe du midi;
- en période de pointe du soir.

Pour chacune des périodes, les comptages doivent commencer dès que la circulation commence à être plus dense et être compilés aux 15 minutes durant toute la durée de la période de pointe. Le but est de déterminer l'heure de pointe (somme des quatre quarts d'heure consécutifs les plus achalandés) pendant la période de pointe. La durée de la période de pointe varie selon la région et la ville. Au Québec, c'est dans la région de Montréal que la période de pointe est la plus longue. Elle s'étire de 5h30 à 9h30 le matin, de 11h00 à 14h00 le midi et de 15h00 à 19h00 le soir. Peignier (2015) précise que le réseau autoroutier montréalais est extrêmement

congestionné avec bien souvent des vitesses relevées inférieures à 5 km/h durant l'heure de pointe du soir.

Le fait de faire des comptages durant des plages aussi longues permet de déterminer exactement les heures de pointe du secteur à l'étude et de voir si les débits sont constants tout au long des périodes de pointe. Les heures de pointe sont les heures de la journée durant lesquelles les débits sont les plus élevés, toutes directions confondues (St-Jacques, 1995a).

Pour certaines études de circulation, il peut être utile de connaître les débits à d'autres périodes notamment :

- en périodes hors-pointe;
- aux périodes de pointe de sorties de commerces (principalement les jeudis soirs et vendredis soirs au Québec ainsi que les samedis et dimanches en fin d'après-midi);
- en fin de semaine (samedi et dimanche matin).

Les comptages doivent être détaillés selon le type d'usagers qui se retrouve sur le réseau routier, soit véhicules particuliers, camions (plus de quatre roues), autobus, motos, vélos et piétons (St-Jacques, 2017a). La proportion de véhicules lourds sur une artère donnée est importante pour le calcul des niveaux de service (St-Jacques, 1995a). Les comptages doivent être détaillés par voie en enlignement droit et par mouvement aux carrefours. Il y a 12 mouvements dans un carrefour à quatre branches, soit un par direction.

En plus des comptages détaillés, des relevés supplémentaires peuvent être faits lors de la collecte des données afin d'évaluer :

- la vitesse de roulement;
- les temps de parcours entre deux points précis;
- les manœuvres de stationnement sur le réseau étudié;
- le trafic de transit (soit le trafic qui n'a pas d'origine ou de destination sur le réseau analysé) car, si les problèmes de circulation dans le secteur sont reliés à ces usagers, il est possible de décourager le trafic de transit en apportant certaines mesures (modification des sens uniques, ralentisseurs de trafic ou autres) (St-Jacques, 2017a; St-Jacques, 1994a).

1.1.4 Niveaux de service actuels

Le but de l'analyse de capacité est de déterminer le nombre maximal de véhicules qui peut franchir un point ou une section en travers d'une voie, ayant des caractéristiques physiques, de circulation et de contrôle données, durant une période de temps déterminée (TRB, 2016).

Les niveaux de service qualifient la fluidité du trafic. C'est une mesure quantitative servant à décrire les conditions qui prévalent dans un courant de circulation et leur perception par les usagers (Transports Québec, 2018a).

Il existe 6 niveaux de service désignés chacun par une lettre de A à F. Le niveau de service A décrit les meilleures conditions d'opération et le niveau de service F les pires conditions (TRB, 2016). Lorsque la capacité pratique d'une infrastructure est atteinte, le nombre de véhicules qui y passe durant l'heure de pointe reste relativement constant. Ce qui change, c'est la longueur de la file de véhicules et la durée de la période de pointe.

Le niveau de service à une intersection signalisée représente les retards dans les déplacements des usagers, ce qui engendre l'inconfort, la frustration et un surplus de la consommation d'essence. Lorsqu'il est question de temps de retard, cela signifie la différence entre la durée du trajet mesurée et celle d'un temps de trajet de référence. Le temps de trajet de référence correspond à un trajet effectué dans des conditions idéales, c'est-à-dire sans moyen de contrôle de la circulation (feux de circulation, panneaux STOP), sans retard causé par la géométrie, sans incident quelconque et sans aucun autre véhicule sur la route (St-Jacques et Tremblay, 2000).

Les rapports débit/capacité et les niveaux de service sont déterminés à partir de certaines données fixes (largeur des voies, vitesse de base, topographie du terrain, présence ou non d'obstruction) et de certaines données variables dans le temps (pourcentages de camions, d'autobus et de véhicules récréatifs, facteur de pointe instantanée, nombre de piétons) (St-Jacques, 2017a).

Le facteur de pointe instantanée est le rapport entre le débit de l'heure de pointe et quatre fois le débit du quart d'heure de pointe (Équation 1.1).

$$\text{FPI} = \frac{D_{\text{HDP}}}{4 \times D_{1/4\text{DHP}}} \quad (\text{Équation 1.1})$$

À un carrefour signalisé, les niveaux de service correspondent aux intervalles de retards suivants (HCM 2016):

- Niveau de service **A**: retard ≤ 10 secondes par véhicule ;
- Niveau de service **B**: retard > 10 et ≤ 20 secondes par véhicule ;
- Niveau de service **C**: retard > 20 et ≤ 35 secondes par véhicule ;
- Niveau de service **D**: retard > 35 et ≤ 55 secondes par véhicule ;
- Niveau de service **E**: retard > 55 et ≤ 80 secondes par véhicule ;
- Niveau de service **F**: retard supérieur à 80 secondes par véhicule .

L'analyse des niveaux de service peut être réalisée avec des logiciels spécialisés (Section 1.4).

1.1.5 Statistiques d'accidents

L'analyse des statistiques d'accidents permet d'évaluer le niveau de sécurité des rues et des intersections du territoire à l'étude. Un relevé détaillé des accidents survenus à un carrefour ou sur une section de route est souvent utile pour identifier les éléments géométriques à modifier. L'analyse des statistiques d'accidents (fournies par le ministère des Transports et/ou les Villes et/ou les Municipalités) permet d'identifier (St-Jacques, 2017a; Lévesque et St-Jacques, 2004; Careau et St-Jacques, 1999) :

- les sites les plus dangereux;
- les périodes d'accidents en fonction du mois, du jour, de l'année;
- les types d'accidents (collision arrière, collision latérale, collision à angle droit, dérapage);
- les causes d'accidents;
- l'indice de gravité des accidents;
- les taux d'accidents, en tenant compte des débits journaliers moyens annuels (DJMA) et de la longueur des tronçons sur lesquels les accidents ont été répertoriés. Les taux d'accidents représentent le nombre d'accidents par million de kilomètres voyagés.

Pour qu'un site soit considéré dangereux et que des mesures correctives soient justifiées, il faut que le taux d'accidents (T_{acc}) (Équations 1.2 et 1.3) soit supérieur au taux critique d'accidents (T_{crit}) (Équation 1.4) (MTQ, 2014). Chaque municipalité a une liste de taux critiques selon le milieu (rural, suburbain, urbain) et le type d'aménagement (aux intersections, ailleurs).

Taux d'accidents aux intersections :

$$T_{acc} = \frac{A \times 10^6}{V \times T} \quad (\text{Équation 1.2})$$

Taux d'accidents ailleurs :

$$T_{acc} = \frac{A \times 10^6}{V \times T \times L} \quad (\text{Équation 1.3})$$

Où A = nombre total d'accidents;
 V = débit journalier moyen annuel (DJMA);
 T = nombre de jours pour la période étudiée;
 L = longueur en km de la section étudiée ($L=1$ au carrefour)

Taux d'accidents critique :

$$T_{crit} = T_{moy} + K \times \sqrt{\frac{T_{moy} \times 10^6}{Q \times T \times L}} + \frac{10^6}{2Q \times T \times L} \quad (\text{Équation 1.4})$$

Où T_{moy} = taux d'accidents moyen pour la catégorie à laquelle appartient le site;
 Q = débit journalier moyen annuel (DJMA);
 T = nombre de jours pour la période étudiée;
 L = longueur en km de la section étudiée ($L=1$ au carrefour)
 K = constante statistique selon le niveau de confiance
1,036 pour un niveau de confiance de 85%
1,282 pour un niveau de confiance de 90%
1,645 pour un niveau de confiance de 95%
2,323 pour un niveau de confiance de 99%

Il est à noter, qu'au Québec, les accidents avec dommages matériels seulement font l'objet de *Constats amiables d'accident automobile*. Ces constats sont rapportés au Groupement des assureurs automobiles mais pas aux différentes autorités municipales ou provinciales (ministère

des Transports du Québec et Société d'assurance automobile du Québec). Ce n'est que lorsque quelqu'un se blesse que les services de secours sont appelés et que les accidents sont statistiquement recensés. Le taux de rapportabilité des accidents avec DMS (dommages matériels seulement) n'est pas déterminé. Il y a donc un certain nombre d'accidents avec DMS qui ne sont pas comptabilisés dans les statistiques d'accidents des différentes instances (municipales et provinciales) (Lévesque, 2005).

Les interventions en sécurité sur le réseau routier visent à réduire et à prévenir les accidents. Pour déterminer les priorités d'intervention, l'analyse avantages-coûts constitue une méthode prometteuse. Par conséquent, pour qu'une étude avantages-coûts soit représentative et significative, il faut connaître les coûts associés aux typologies d'accident visées par les interventions (St-Jacques et Lévesque, 2004; St-Jacques et Lévesque, 2005).

L'analyse avantages-coûts consiste à comparer le coût de l'intervention nécessaire par rapport à l'économie réalisée en réduisant le nombre ou la gravité des accidents. Selon St-Jacques et Lévesque (2004 et 2005), les deux principales méthodes utilisées pour calculer les coûts reliés à la réduction du nombre ou de la gravité des accidents sont :

- la méthode d'évaluation des coûts selon la gravité des accidents;
- la méthode d'évaluation des coûts selon la typologie d'accident.

Ces deux méthodes sont basées sur l'analyse des statistiques d'accident. La méthode d'évaluation des coûts des accidents selon la gravité consiste à appliquer les coûts moyens des accidents selon leur gravité dans le calcul des avantages de l'intervention. Par exemple, pour un site particulier, la quantité totale d'accidents doit être calculée pour chacune des gravités. Le ministère des Transports du Québec considère cinq classes de gravité : mortalité; blessures graves; blessures légères; et deux classes d'accident avec dommages matériels seulement (DMS) selon la valeur des dommages. Ensuite, les quantités d'accidents sont multipliées par leur coût respectif selon la gravité. Cette méthode comporte toutefois certaines limites. Entre autres, elle ne permet pas de distinguer les accidents reliés à la consommation d'alcool ou à la maladie (St-Jacques et Lévesque, 2004; St-Jacques et Lévesque, 2005).

La méthode de détermination du coût selon la typologie d'accident consiste à déterminer le coût moyen d'un type d'accident, pour ensuite l'appliquer dans le calcul des avantages de

l'intervention. Par exemple, pour un site particulier, la quantité totale d'accidents doit être calculée pour chacune des typologies d'accident. Les quantités d'accidents selon la typologie sont ensuite multipliées par leur coût selon la typologie. Cette méthode est utilisée au ministère des Transports du Québec, au département des Transports du Nouveau-Mexique et par l'Australian Road Research Board (St-Jacques et Lévesque, 2004; St-Jacques et Lévesque, 2005; St-Jacques, Lévesque et Laferrière, 2005).

Le MTQ utilise des coûts de base selon la gravité de l'accident en tenant compte du nombre de victimes impliquées (selon le taux d'occupation des véhicules). Lors de leur étude, St-Jacques, Lévesque et Laferrière (2005) devaient poursuivre le développement de la méthodologie utilisée par les spécialistes en sécurité routière du ministère des Transports du Québec, servant aux calculs des coûts moyens d'accident selon la typologie, et s'assurer que la méthodologie utilisée est exacte, efficiente, efficace et applicable au contexte québécois.

Au Québec, depuis 1990, le logiciel de diagnostic de sécurité routière (DSR-5086) permet d'identifier les principaux sites d'accidents. Chaque accident est détaillé selon 45 variables permettant ainsi une précision dans les regroupements d'accidents (Lévesque, 2005). En plus des gravités des accidents, les données nécessaires à la détermination des coûts moyens concernent le type de collision, le milieu et la localisation par rapport à l'intersection. À cet effet, le ministère des Transports du Québec utilise :

- 33 types de collision (véhicule routier; banc de neige; piéton; train; animal; capotage; lampadaire/poteau; borne fontaine; etc.).
- 3 types de milieu (urbain : vitesse affichée ≤ 60 km/h; semi-urbain : vitesse affichée = 70 km/h; rural : vitesse affichée ≥ 80 km/h).
- 2 localisations d'accident (à l'intersection (distance inférieure à 100 mètres de l'intersection) ou hors intersection).

Pour chaque combinaison possible entre le type de collision, le milieu et la localisation, un type d'accident a été créé et un coût moyen a été calculé pour chaque typologie d'accident. Les manipulations de la base de données (650 000 accidents lors de l'analyse) avec le logiciel SAS

ont permis de trouver le nombre d'accidents de chaque gravité pour chacun des types d'accident (St-Jacques et Lévesque, 2004; St-Jacques et Lévesque, 2005; St-Jacques, Lévesque et Laferrière, 2005).

St-Jacques, Lévesque et Laferrière (2005) ont vérifié l'impact de la modification du rayon d'influence (de 25 à 100 mètres, par intervalles de 25 mètres) aux intersections afin d'obtenir des coûts moyens justifiés. La faible différence entre les coûts initiaux et les coûts obtenus a démontré qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser un autre rayon d'influence de l'intersection que celui de 100 mètres qui est présentement utilisé par le Ministère.

Les améliorations apportées à la méthode du ministère des Transports du Québec, par St-Jacques, Lévesque et Laferrière (2005), consistent en l'ajout des accidents de gravité 5 (accidents avec dommages matériels seulement dont la valeur est inférieure à 1000\$ ou 500\$ avant le 1er juillet 1999) comme classe de gravité. L'utilisation des accidents des gravités 1 à 5, plutôt que l'utilisation des données d'accidents des gravités 1 à 4 comme le faisait le MTQ, montre une faible variation des coûts (de l'ordre de -2,15% à 3,99%). Il a toutefois été proposé par St-Jacques, Lévesque et Laferrière (2005) de conserver les coûts moyens d'accident selon la typologie calculés à partir des accidents des gravités 1 à 5 car cela permet de conserver un maximum de données. Les coûts finaux ont donc été déterminés à partir des cinq classes de gravité, soit mortel; blessés graves; blessés légers; $DMS \geq 1000\$$; et $DMS < 1000\$$ ou 500\$ avant le 1er juillet 1999.

1.2 Évaluation de la situation future

Lorsque la situation actuelle est bien maîtrisée par le concepteur routier, il peut ensuite passer à l'évaluation de la situation future. Deux analyses peuvent être faites pour la situation future.

D'abord, ça peut être une correction de la situation actuelle sans ajout de débits supplémentaires. Puis, ça peut être l'évaluation de la situation future avec l'ajout de nouveaux développements à proximité du réseau à l'étude. Il faut alors estimer combien ces nouveaux développements généreront de débits additionnels sur le réseau routier.

1.2.1 Estimation des débits futurs

Afin d'évaluer quelle sera la situation future sur le réseau urbain analysé, il faut évaluer les déplacements qui seront générés selon le type et la superficie des nouveaux développements.

Les débits générés par de nouveaux développements sont en fonction du type de développement (bureau, commerce, habitation, etc.) et de la superficie développée. Le manuel *Trip Generation* de l'Institute of Transportation Engineers sert de base pour les calculs de génération des déplacements en Amérique du Nord (ITE, 2017).

Ainsi, le manuel fournit un taux de génération selon la superficie de plancher développée (par 1 000 pi² de plancher), selon le type de développement, le jour (semaine, samedi, dimanche) et la période de la journée (heure de pointe du matin du générateur, heure de pointe du matin de la rue adjacente, heure de pointe du soir du générateur, heure de pointe du soir de la rue adjacente). Il donne aussi la répartition des débits entrants/sortants vers ou depuis le nouveau développement (Figure 1.1).

À partir de ces taux et distributions de débits, il est possible d'évaluer quels seront les débits additionnels dans ce secteur. Il est estimé que la distribution modale actuelle se maintiendra dans le futur à moins qu'il y ait une augmentation importante du service de transport en commun tel l'aménagement d'un SLR (système léger sur rail) ou d'une station de métro (St-Jacques, 1988).

L'estimation du trafic futur est faite à partir du trafic actuel, recensé sur le terrain, et du trafic généré par les nouveaux développements, calculé selon la méthode de l'ITE (2017). La distribution du trafic futur par mouvement aux carrefours est faite selon la même distribution que le trafic actuel.

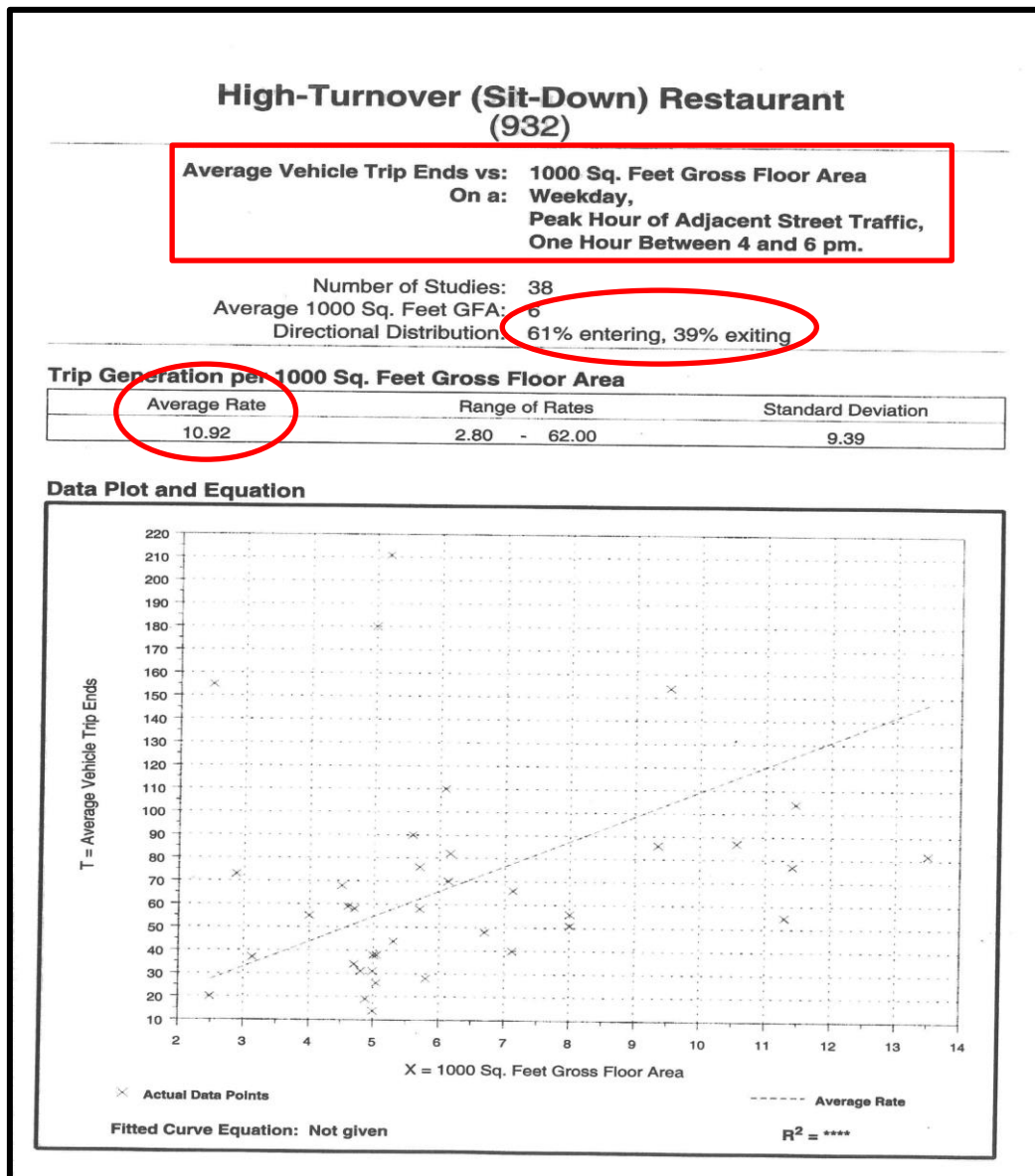


Figure 1.1 : Taux de génération pour un commerce de restauration rapide

Source : Adaptée de ITE, 2017

Les tableaux de l'ITE (2017) ne peuvent pas être utilisés en Europe car la part modale de l'automobile est différente. Le transport en commun est beaucoup plus présent en Europe. Pour l'estimation du trafic en France, Bennet (2012) et Bonnel (2001) parlent du « modèle à quatre étapes », soit la génération, la distribution, le choix modal et l'affectation. Tout comme en Amérique du Nord, la génération fait référence au nombre de déplacements qui seront générés et attirés par une zone en tenant compte des différentes données socio-économiques de la zone, soit le nombre d'habitants, le nombre d'emplois et le nombre d'actifs. Boeswilwald et Latorre (CETUR, 1990b) ont développé un guide technique pour les études de prévision de trafic en milieu urbain en France.

1.2.2 Niveaux de service futurs

La venue de nouveaux développements pourra avoir un impact sur la circulation environnante. Afin de connaître cet impact, des simulations avec des logiciels spécialisés peuvent être réalisées. Dans un premier temps, il faut conserver toutes les caractéristiques de la situation actuelle, tant au niveau géométrie que contrôle.

Selon les résultats obtenus, des mesures particulières peuvent être proposées afin de réduire l'impact des nouveaux développements et d'offrir la capacité pour accueillir les débits qui seront générés par ces développements. Ainsi, des solutions sont élaborées selon différents scénarios pour répondre aux besoins futurs.

Afin de choisir le meilleur scénario, une analyse des niveaux de service futurs et une estimation de coûts pour chacun des aménagements proposés doivent être réalisées. Cette analyse peut être réalisée de façon isolée ou dans le cadre d'un Plan directeur de circulation.

1.3 Plans directeurs de circulation

Alors que les sections 1.1 et 1.2 faisaient référence à un territoire très restreint, les Plans directeurs de circulation font référence à un quartier ou une municipalité dans son ensemble. Le territoire analysé est beaucoup plus grand que celui qui est étudié dans le cas d'une étude de circulation.

Ainsi, le volet transport de ces Plans permet de dresser un bilan des déplacements dans le secteur à l'étude. Plus précisément, il évalue la problématique de la circulation et parfois aussi celle du stationnement (St-Jacques, 1992a; St-Jacques, 1992b; St-Jacques et des Rivières, 1993a; St-Jacques et des Rivières, 1993b).

En plus des débits de circulation, les statistiques d'accidents, le réseau de transport collectif, le réseau de voies cyclables et le réseau de voies pédestres peuvent être analysés.

Le plan directeur de circulation est envisagé dans une perspective de solution tant à court terme, pour résoudre les problèmes imminents, qu'à long terme pour préserver et favoriser la vocation d'un secteur, quartier ou territoire donné.

Il a pour but (St-Jacques, 1988) :

- d'établir l'état de la situation et la problématique actuelle et prévisible de la circulation;
- de concevoir, analyser et évaluer les solutions qui permettraient d'atteindre les objectifs d'accessibilité, de sécurité, de qualité de vie, de développement urbain et de qualité de service tout en étant économique, en optimisant l'utilisation des infrastructures existantes et en demeurant souple pour s'adapter aux besoins futurs;
- de proposer un plan d'action qui présente, pour les différentes phases de développement, les contraintes, les priorités et l'échéancier.

Il peut arriver qu'une révision d'un plan directeur de circulation soit nécessaire suite à de nouveaux scénarios de développement (résidentiel, commercial ou industriel) ou à l'ajout d'une nouvelle infrastructure de transport dans le secteur, quartier ou territoire analysé. Au niveau des nouvelles infrastructures de transport, il peut s'agir de l'ajout d'une voie réservée aux autobus, d'une station de métro ou autres (St-Jacques, 1991a).

1.4 Logiciels d'analyse des débits de circulation

Pour réaliser les analyses précédentes, différents logiciels sont mis à la disposition des ingénieurs routiers. Ainsi les logiciels aaSidra (Australia) ; HCM-Cinema (USA); Synchro (USA); et HCS (USA) permettent (ou permettaient) des calculs de capacité à un carrefour isolé en milieu urbain.

Tous les logiciels déterminent des niveaux de service par direction, selon le temps pris par véhicule pour traverser le carrefour. Ainsi, comme il a été vu précédemment, le niveau de service A signifie qu'un véhicule prendra 10 secondes ou moins pour traverser le carrefour à partir du moment où il arrivera au carrefour alors qu'il prendra plus de 80 secondes pour traverser le même carrefour si le niveau de service est F (HCM 2016).

Or, les résultats obtenus peuvent varier d'un logiciel à l'autre. Un logiciel peut donner un retard de 18 secondes par véhicule pour traverser le carrefour (niveau de service B) alors qu'un autre logiciel donnera un retard de 22 secondes par véhicule (niveau de service C) pour traverser le même carrefour à la même heure et avec les mêmes débits. Il devient alors problématique de savoir ce qui peut faire varier les résultats et par conséquent de déterminer le logiciel qui fournit les résultats les plus réalistes (St-Jacques et Tremblay, 2000).

Une des hypothèses pour expliquer les écarts possibles entre les résultats obtenus avec les différents logiciels concerne les paramètres par défaut. Ils diffèrent d'un logiciel à l'autre. Ces variations touchent des paramètres que la plupart des utilisateurs ne modifient pas lorsqu'ils effectuent des analyses de capacité. Or, comme il y a une multitude de paramètres qui comportent des variations entre les logiciels et que ceux-ci interagissent les uns avec les autres, il est logique de penser que c'est l'accumulation de ces variations qui, au bout du compte, font varier le résultat final de l'analyse de capacité (St-Jacques et Tremblay, 2000).

Certains de ces paramètres sont relevés sur le terrain (Section 1.4.2) alors que d'autres doivent être calculés à partir des données mesurées sur le terrain (Section 1.4.3). Lorsque le concepteur calcule ou détermine les valeurs des différents paramètres au lieu de prendre les valeurs par défaut, il améliore ses chances d'obtenir des résultats qui reflètent la réalité (St-Jacques et Tremblay, 2000).

Une analyse réalisée par Nochahrli (2005) a montré que la comparaison de logiciels passait par la compréhension complète des paramètres comparés. Une autre analyse réalisée en 2013 a démontré que si les valeurs par défaut des paramètres sont remplacées manuellement par les valeurs mesurées sur le terrain, les logiciels HCS, Synchro et HCM-Cinema donnent des résultats d'analyse similaires (Burelle, Foster et Terhzaz, 2013).

1.4.1 Calculs de capacité

Pour calculer la capacité d'une route, il faut tenir compte des divers paramètres concernant la route et la circulation. Il faut modifier les valeurs par défaut dans les logiciels car les valeurs optimales ne sont jamais applicables à une route réelle (TRB, 2016 ; St-Jacques, 2017a). Ainsi, pour le calcul de la capacité, il faut multiplier la capacité théorique d'une voie de circulation de 2 000 u.v.p./heure (unités de véhicules (ou voitures) particuliers par heure) par le nombre de voies de circulation et les facteurs d'ajustements appropriés.

Il y a des facteurs d'ajustement notamment pour la largeur des voies et des accotements; les manœuvres de stationnement; les manœuvres de virage à droite et à gauche; la présence de voies de tourne-à-gauche et de tourne-à-droite, et leur longueur de stockage; les pentes et le profil de la route; la vitesse; le comportement des différents conducteurs aux feux de circulation; la présence de piétons; le type de véhicules; les files d'attente; la distribution du trafic; et le type de milieu (urbain, rural, suburbain, centre-ville).

Les valeurs réelles des différents paramètres à entrer dans les logiciels sont obtenues par relevés sur le terrain ou par des calculs réalisés au préalable.

1.4.2 Paramètres relevés sur le terrain

Les valeurs des différents paramètres suivants sont mesurés directement sur le terrain, soit :

- la largeur des voies, la largeur des accotements et le dégagement latéral;
- les mouvements permis dans chacune des voies au carrefour (virage à gauche, tout droit, virage à droite);
- le type de carrefour;
- le nombre de voies de circulation par approche;
- la présence d'une voie de stationnement adjacente et les manœuvres de stationnement;
- les manœuvres de virage à droite et à gauche;
- la présence de voies de tourne-à-gauche et de tourne-à-droite, et leur longueur de stockage;
- l'utilisation de la voie (la distribution uniforme ou non de l'écoulement des véhicules dans la voie la plus achalandée lorsqu'il y a plus d'une voie);
- les pentes par approche;
- le profil de la route;
- la vitesse;
- le temps de réaction du conducteur lorsque le feu passe au vert;
- le nombre de véhicules qui passent sur le feu jaune;
- la présence de piétons;
- le type de zone (centre-ville ou non);
- l'effet de blocage dû aux arrêts d'autobus près de l'intersection.

1.4.3 Paramètres calculés

En plus des paramètres relevés sur le terrain, d'autres paramètres doivent faire l'objet de calculs à partir des données mesurées sur le terrain. Il s'agit :

- du facteur de pointe instantanée;
- des variations des débits dans le temps;
- du pourcentage de véhicules lourds (camions et autobus);

- du coefficient d'équivalence en unités de véhicules particuliers (u.v.p.).

Tous ces paramètres seront expliqués plus en détails ci-après.

Facteur de pointe instantanée (FPI, PHF ou PFF)

Le facteur de pointe instantanée permet de vérifier si le débit est concentré pendant une période précise de l'heure de pointe ou étalé de façon similaire durant toute l'heure de pointe. Autrement dit, il permet de vérifier si le débit est constant pendant l'heure analysée ou si c'est juste durant une certaine partie de l'heure qu'il y a plus de véhicules au carrefour. C'est en quelque sorte une manière d'apprécier les caractéristiques de la période de pointe (TRB, 2016; St-Jacques, 2017a).

C'est l'Équation 1.1 qui permet de calculer le facteur de pointe instantanée (FPI en français et PHF (Peak Hour Factor aux États-Unis) ou PFF (Peak Flow Factor en Australie) en anglais). Il correspond au rapport entre le débit de l'heure de pointe et quatre fois le débit du quart d'heure de pointe.

Les valeurs par défaut déjà entrées dans le logiciel pour les facteurs de pointe instantanée doivent être modifiées pour tous les mouvements analysés. Ainsi, pour un carrefour à quatre branches, il y a 12 mouvements possibles donc 12 facteurs à calculer et modifier.

Variation des débits dans le temps

Le choix du débit horaire particulier qu'il faut utiliser pour réaliser l'analyse de la circulation est très important. Aux États-Unis, c'est le débit de la 30^e heure qui est habituellement utilisé (TRB, 2016). Cette pratique est aussi le cas au Québec. En milieu urbain au Québec, la 30^e heure correspond habituellement au débit observé à l'heure de pointe d'un jeudi soir de septembre (St-Jacques, 2017a).

Afin de ramener les données de comptages réalisés sur le terrain à différentes périodes de l'année ou lors d'années antérieures en données de comptages d'un jeudi soir de septembre (débit de la 30^e heure), le ministère des Transports du Québec met à la disposition des ingénieurs routiers des synthèses des divers recensements de la circulation réalisés sur les principales routes du Québec.

Ces synthèses présentent, pour les principales routes numérotées du Québec, les variations de débits par année (Figure 1.2) et par jour – mois (Figure 1.3). À partir de ces synthèses, il est possible de déterminer un facteur de correction pour la croissance annuelle et un facteur de correction jour/mois. Ces deux facteurs de correction permettent de ramener tous les relevés de circulation mesurés sur le terrain en débits de la 30^e heure. En réalisant une conception pour ces débits calculés, l'ingénieur s'assure que la capacité de l'infrastructure sera suffisante pour pratiquement toute la période de l'année.

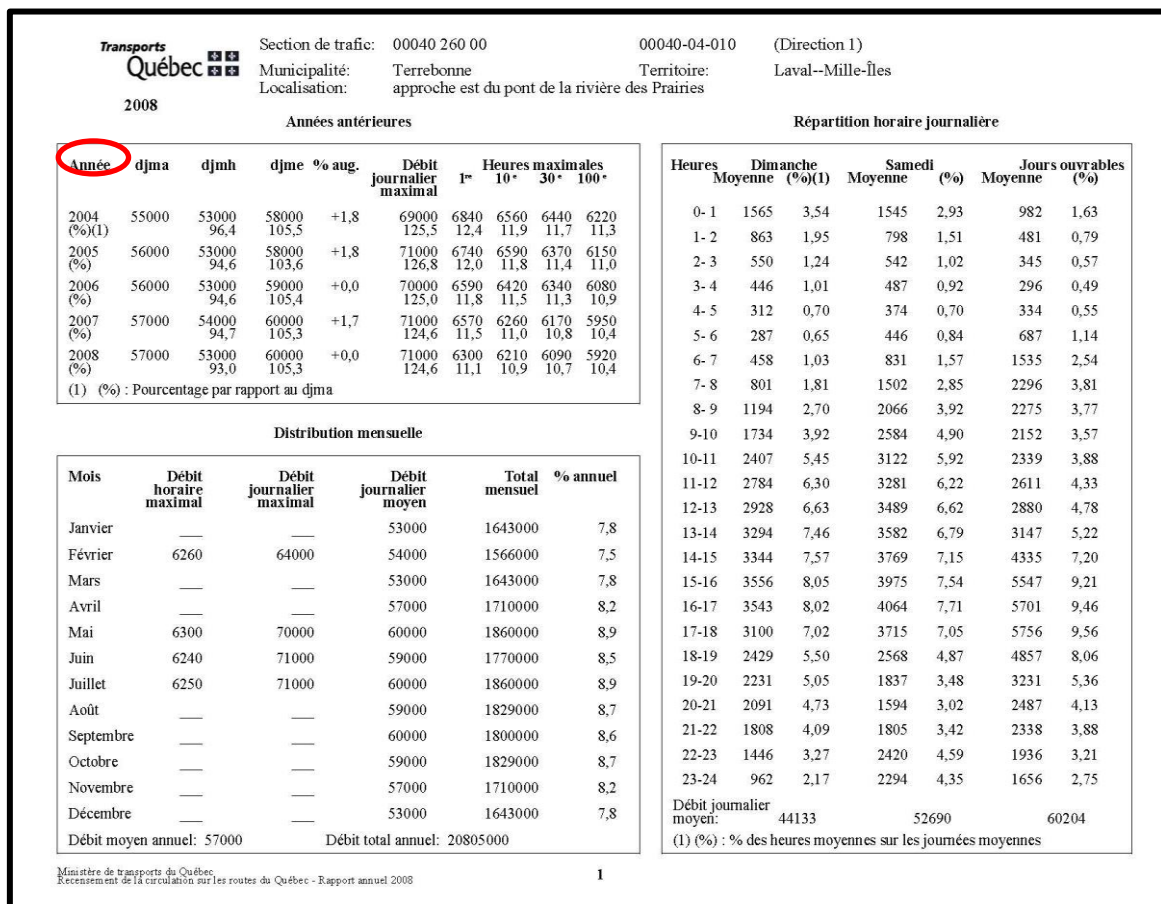



Figure 1.2 : Variation annuelle des débits

Source : Adaptée de MTQ, 2010

|  | | Section de trafic: 00040 260 00 | | 00040-04-010 (Total des directions) | | | | | |
|---|----------------|---|-------------|-------------------------------------|------------|----------------|--------------|----------------------------|------------------------|
| | | Municipalité: Terrebonne | | Territoire: Laval--Mille-Îles | | | | | |
| 2008 | | Localisation: approche est du pont de la rivière des Prairies | | | | | | | |
| Débits journaliers mensuels | | | | | | | | | |
| Mois | Dimanche moyen | Lundi moyen | Mardi moyen | Mercredi moyen | Judi moyen | Vendredi moyen | Samedi moyen | Jour moyen ajusté (1) 2008 | Jour moyen ajusté 2007 |
| Janvier | 83790 | 109670 | 110290 | 112630 | 119360 | 121020 | 93270 | 107000 | 105000 |
| (%) (2) | 72,8 | 95,3 | 95,9 | 97,9 | 103,7 | 105,2 | 81,1 | 93,0 | 91,3 |
| Février | 84570 | 109470 | 110190 | 114170 | 117510 | 123570 | 97230 | 108000 | 107000 |
| (%) | 73,5 | 95,1 | 95,8 | 99,2 | 102,1 | 107,4 | 84,5 | 93,9 | 93,0 |
| Mars | 88480 | 107920 | 116920 | 109170 | 121040 | 121410 | 89510 | 108000 | 111000 |
| (%) | 76,9 | 93,8 | 101,6 | 94,9 | 105,2 | 105,5 | 77,8 | 93,9 | 96,5 |
| Avril | 95360 | 116660 | 119330 | 121310 | 125170 | 130060 | 104920 | 116000 | 114000 |
| (%) | 82,9 | 101,4 | 103,7 | 105,4 | 108,8 | 113,0 | 91,2 | 100,8 | 99,1 |
| Mai | 104320 | 118330 | 121990 | 124030 | 127760 | 136220 | 105750 | 120000 | 120000 |
| (%) | 90,7 | 102,8 | 106,0 | 107,8 | 111,0 | 118,4 | 91,9 | 104,3 | 104,3 |
| Juin | 100680 | 117920 | 121330 | 123890 | 127870 | 135750 | 107170 | 119000 | 121000 |
| (%) | 87,5 | 102,5 | 105,5 | 107,7 | 111,1 | 118,0 | 93,1 | 103,4 | 105,2 |
| Juillet | 100610 | 120420 | 123370 | 125400 | 128920 | 137970 | 112390 | 121000 | 121000 |
| (%) | 87,4 | 104,7 | 107,2 | 109,0 | 112,1 | 119,9 | 97,7 | 105,2 | 105,2 |
| Août | 104950 | 119530 | 124750 | 123690 | 128700 | 133370 | 111050 | 121000 | 121000 |
| (%) | 91,2 | 103,9 | 108,4 | 107,5 | 111,9 | 115,9 | 96,5 | 105,2 | 105,2 |
| Septembre | 103000 * | 119000 * | 122000 * | 124000 * | 127000 * | 136000 * | 110000 * | 120000 * | 120000 * |
| (%) | 89,5 | 103,4 | 106,0 | 107,8 | 110,4 | 118,2 | 95,6 | 104,3 | 104,3 |
| Octobre | 97000 * | 118000 * | 122000 * | 123000 * | 129000 * | 133000 * | 103000 * | 118000 * | 119000 * |
| (%) | 84,3 | 102,6 | 106,0 | 106,9 | 112,1 | 115,6 | 89,5 | 102,6 | 103,4 |
| Novembre | 91000 * | 114000 * | 117000 * | 119000 * | 123000 * | 130000 * | 105000 * | 114000 * | 115000 * |
| (%) | 79,1 | 99,1 | 101,7 | 103,4 | 106,9 | 113,0 | 91,3 | 99,1 | 100,0 |
| Décembre | 83810 | 113730 | 116000 * | 113000 * | 117310 | 123000 * | 97620 | 109000 | 111000 |
| (%) | 72,8 | 98,8 | 100,8 | 98,2 | 102,0 | 106,9 | 84,8 | 94,7 | 96,5 |
| Jour moyen | 95000 * | 115000 * | 119000 * | 119000 * | 124000 * | 130000 * | 103000 * | 115000 | 115000 |
| (%) | 82,6 | 100,0 | 103,4 | 103,4 | 107,8 | 113,0 | 89,5 | 100,0 | 100,0 |

(1) Jour moyen ajusté : moyenne authentique des 7 jours de la semaine
(2) % : pourcentage par rapport au djma ajusté

(*) Estimation

Ministère de transports du Québec
Recensement est de la circulation sur les routes du Québec - Rapport annuel 2008

Figure 1.3 : Variation journalière et mensuelle des débits

Source : Adaptée de MTQ, 2010

Pourcentage de véhicules lourds (camions et autobus)

À partir des relevés faits sur le terrain, il faut calculer de façon précise le pourcentage de véhicules lourds (véhicules avec plus de quatre roues) pour chacun des mouvements et non pas de façon globale pour le carrefour ou par approche. Les véhicules lourds sont plus lents à démarrer lorsque le feu passe au vert. Il est donc important d'en tenir compte de façon précise lors de l'analyse des carrefours.

Tout comme pour le facteur de pointe instantanée, s'il y a 12 mouvements possibles au carrefour, il y aura 12 facteurs à calculer et à modifier au niveau des paramètres du logiciel.

Coefficient d'équivalence en unités de véhicules particuliers

Ce dernier paramètre calculé n'est pas utilisé dans les différents logiciels d'analyse de la circulation. Il sert plutôt à vérifier si l'installation de feux de circulation est justifiée.

Le HCM (TRB, 2016) décrit le coefficient d'équivalence comme étant le nombre de véhicules particuliers dont un camion ou un autobus tient la place compte tenu des caractéristiques géométriques et de circulation existantes.

Pour une étude de justification de l'installation de feux de circulation, les débits de circulation mesurés sur le terrain doivent être convertis en unités de véhicules (ou voitures) particuliers. Ainsi, selon le tableau 8.5-1 des Normes des ouvrages routiers (Transports Québec, 2018b), pour une pente de 0%, une moto correspond à 0,5 véhicule particulier; une auto correspond à 1 véhicule particulier; et un véhicule lourd (camion, autobus, camion remorque et équipement de ferme) correspond à 1,5 véhicule particulier.

Des facteurs de correction doivent également être apportés aux virages à droite depuis l'artère secondaire. Le but de ces facteurs est d'enlever du poids à ces débits. Ces mouvements sont moins en conflits avec les autres mouvements du carrefour et, sur le territoire québécois, le virage à droite au feu rouge (VDFR) est permis partout depuis 2003, sauf sur l'île de Montréal et à certaines intersections spécifiques. Cette autorisation fait suite à un projet pilote réalisé dans 26 municipalités du Québec en janvier 2001.

Ces débits calculés sont ensuite transposés dans des abaques afin de vérifier si le feu de circulation est justifié. Il s'agit donc d'un débit global qui englobe tous les types de véhicules au carrefour.

1.4.4 Comparaison de divers logiciels

Il est important de choisir le logiciel qui saura répondre aux besoins de l'utilisateur. Pour ce faire, il est essentiel de prendre connaissance des facteurs qui peuvent provoquer des écarts. Il faut également connaître les forces et les faiblesses de chacun des logiciels ainsi que leurs limites respectives. Au cours des dernières années, diverses études ont comparé des logiciels entre eux.

HCS vs SIDRA

Une première étude comparative entre les logiciels de calculs de capacité HCS « Highway Capacity Software » (version 3.1a), développé par le McTrans Center de l'Université de la Floride (USA), et le logiciel SIDRA « Signalised & Unsignalised Intersection Design and

Research Aid » (version 5.20a), développé en Australie par l'ARRB Transport Research, a été réalisée en 2000 par Tremblay et St-Jacques.

Les deux logiciels sont basés sur le « Highway Capacity Manual ». L'écart des résultats obtenus entre les deux logiciels, sans modifier les paramètres de base, pour l'analyse des niveaux de service à un carrefour en milieu urbain a été évalué à 15%. Les niveaux de service diffèrent à certaines approches et les retards sont plus élevés avec le logiciel SIDRA (Tableau 1.1).

Tableau 1.1 : Comparaison des résultats obtenus avec les logiciels HCS et SIDRA

| Direction | HCS 3.1a | | SIDRA 5.20a | |
|---------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| | Retard | Niveau de service | Retard | Niveau de service |
| Est | 109.2 | F | 126.3 | F |
| Gauche | 150.3 | F | 252.2 | F |
| Tout droit | 32.3 | C | 32.2 | C |
| Droite | n.d. | n.d. | 16.0 | B |
| Ouest | 39,3 | D | 39,2 | D |
| Gauche | 43.8 | D | 54.0 | D |
| Tout droit | 37.3 | D | 34.1 | C |
| Droite | n.d. | n.d. | 27.2 | C |
| Nord | 43.7 | D | 44.9 | D |
| Gauche | 52.5 | D | 55.6 | E |
| Tout droit | 41.2 | D | 43.0 | D |
| Droite | n.d. | n.d. | 39.4 | D |
| Sud | 43.4 | D | 54.8 | D |
| Gauche | 52.5 | D | 55.3 | E |
| Tout droit | 40.8 | D | 56.1 | E |
| Droite | n.d. | n.d. | 51.2 | D |
| Global | 58.2 | E | 69.1 | E |

Source : Tremblay et St-Jacques, 2000

Cet écart est principalement dû au fait que certains paramètres de base des deux logiciels diffèrent. De plus, ce n'est pas la même méthode de calculs qui est utilisée pour les deux logiciels. Ces deux logiciels ont été conçus dans des pays différents pour répondre à des besoins différents. Le logiciel SIDRA sert uniquement à faire des calculs de capacité aux intersections signalisées alors que le logiciel HCS peut faire des analyses de capacité pour des autoroutes, des bretelles d'accès, des routes à deux voies, des routes à voies multiples, des zones d'entrecroisement et des artères. Il peut aussi faire des analyses spécifiques pour les piétons et le trafic de transit.

HCM/Cinema vs SIDRA

Une deuxième étude réalisée par St-Jacques et Tremblay (2000) a comparé deux des logiciels alors les plus couramment utilisés lors de l'analyse de la capacité et des niveaux de service à un carrefour situé en milieu urbain, soit les logiciels HCM/Cinema et SIDRA.

Le logiciel HCM/Cinema (version 3.11), développé aux États-Unis conjointement par KLD Associates Inc. et Polytechnic University, inclut une version du modèle de simulation TRAF-NETSIM. Le logiciel SIDRA (Signalised & Unsignalised Intersection Design and Research Aid) (version 5.20a) a été développé en Australie par l'ARRB Transport Research. Les deux logiciels sont basés sur le « Highway Capacity Manual » (HCM) pour le calcul de capacité aux intersections.

Le logiciel HCM/Cinema permet d'estimer les niveaux de service, la capacité, les retards, la longueur des files d'attente, la vitesse moyenne, la quantité de polluants émis dans l'atmosphère et la consommation de carburants selon le type de véhicule (auto, autobus, camion). Lorsque toutes les analyses selon HCM et TRAF-NETSIM ont été effectuées et sauvegardées, une « animation » à l'écran peut être demandée. Cette animation permet de visualiser les différents conflits au carrefour : voies bloquées par des manœuvres de stationnement, virages à gauche non protégés, traverses de piétons.

Le logiciel SIDRA détermine la capacité, les retards, la longueur des files d'attente, la quantité de polluants émis dans l'atmosphère et les coûts d'opération (essence) aux carrefours gérés par des feux de circulation. Ce logiciel peut également faire l'analyse de la capacité aux intersections gérées par des STOP doubles, des STOP multiples et des CÉDEZ (carrefours giratoires).

Le Tableau 1.2 montre qu'il y a une certaine variation au niveau des résultats obtenus avec les logiciels HCM/Cinema et SIDRA. Le logiciel SIDRA présente les retards et les niveaux de service par mouvement et par approche alors que le logiciel HCM/Cinema les présente uniquement par approche. Les retards calculés par les logiciels varient de 3,5 à 13,2 secondes selon l'approche analysée et de 4,8 secondes pour l'ensemble du carrefour.

Tableau 1.2 : Comparaison des résultats obtenus avec les logiciels HCM/Cinema et SIDRA

| Direction | HCM/Cinema 3.11 | | SIDRA 5.20a | |
|---------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | Retard | Niveau de service | Retard | Niveau de service |
| Est | 24,2 | C | 20,7 | C |
| Gauche | n.d. | n.d. | 23,9 | C |
| Tout droit | n.d. | n.d. | 23,3 | C |
| Droite | n.d. | n.d. | 22,8 | C |
| Ouest | 10,9 | B | 23,3 | C |
| Gauche | n.d. | n.d. | 36,6 | D |
| Tout droit | n.d. | n.d. | 17,6 | B |
| Droite | n.d. | n.d. | 15,9 | B |
| Nord | 18,5 | C | 27,2 | C |
| Gauche | n.d. | n.d. | 27,6 | C |
| Tout droit | n.d. | n.d. | 26,7 | C |
| Droite | n.d. | n.d. | 25,7 | C |
| Sud | 13,3 | B | 26,5 | C |
| Gauche | n.d. | n.d. | 36,2 | D |
| Tout droit | n.d. | n.d. | 23,9 | C |
| Droite | n.d. | n.d. | 23,0 | C |
| Global | 18,0 | C | 22,8 | C |

Source : St-Jacques et Tremblay, 2000

Cet écart est principalement dû au fait que certains paramètres de base des deux logiciels diffèrent. Il y a également des variations en ce qui concerne les données d'entrée. Ainsi, le logiciel SIDRA demande la vitesse d'approche au carrefour, les mouvements opposés aux mouvements de virage et la distance d'approche. Le logiciel HCM/Cinema demande le facteur d'accroissement des débits au carrefour et la présence d'un bouton d'appel pour les piétons.

Au niveau de l'utilisation comme telle du logiciel, HCM/Cinema est beaucoup plus simple que SIDRA. Alors qu'il faut bien lire le guide d'utilisation de SIDRA avant d'utiliser le logiciel pour la première fois, l'entrée de données dans le logiciel HCM/Cinema est simple, claire et ne nécessite aucune lecture au préalable.

Synchro/SimTraffic vs TSIS/CORSIM

En 2005, Nochahrli a comparé les logiciels TSIS/CORSIM (version 5.1) et Synchro/SimTraffic (version 6.0). Le logiciel Synchro a été développé par Trafficware (USA) pour optimiser la coordination des feux de circulation. Il permet de modéliser les autoroutes et les rues locales; une intersection isolée ou un réseau de circulation complexe; les carrefours signalisés par des feux de circulation, des panneaux STOP ou des panneaux Cédez (carrefours giratoires). Le logiciel Synchro permet d'optimiser la bande verte du peloton de véhicules et calcule la consommation d'essence en litres par heure. SimTraffic, l'interface graphique de Synchro, fournit une image du réseau et des informations sur le flux, les files d'attente, les vitesses.

Le logiciel TSIS (Traffic Software Integrated System), développé par la Federal Highway Administration (FHWA, USA), sert à modéliser des réseaux routiers complexes, des réseaux urbains, des autoroutes, des voies réservées au transport en commun et au covoiturage. Il donne les flux, les temps de parcours, les retards, les files d'attente, la consommation d'essence et les émissions de polluants. CORSIM est l'outil de modélisation des corridors routiers.

Le Tableau 1.3 présente les résultats obtenus avec les logiciels Synchro/SimTraffic et TSIS/CORSIM. Il y a un écart de 22% entre les résultats obtenus avec les deux logiciels. Les retards sont plus élevés et les niveaux de service sont plus faibles avec le logiciel Synchro/SimTraffic.

Tableau 1.3 : Comparaison des résultats obtenus avec les logiciels Synchro/SimTraffic et TSIS/CORSIM

| Direction | Synchro/SimTraffic 6.0 | | TSIS/CORSIM 5.1 | |
|---------------|------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Retard | Niveau de service | Retard | Niveau de service |
| Est | 82,3 | F | 44,3 | D |
| Gauche | 97,3 | F | 56,7 | E |
| Tout droit | 94,8 | F | 37,4 | D |
| Droite | 23,5 | C | 44,4 | D |
| Ouest | 37,2 | D | 34,8 | C |
| Gauche | 43,4 | D | 36,9 | D |
| Tout droit | 36,6 | D | 35,8 | D |
| Droite | 35,8 | D | 34,3 | C |
| Nord | 46,6 | D | 51,9 | D |
| Gauche | 100,0 | F | 71,8 | E |
| Tout droit | 31,3 | C | 50,1 | D |
| Droite | 32,2 | C | 58,9 | E |
| Sud | 31,6 | C | 19,1 | B |
| Gauche | 39,8 | D | 0,0 | n.d. |
| Tout droit | 30,6 | C | 19,1 | B |
| Droite | 32,4 | C | 0,0 | n.d. |
| Global | 49,2 | D | 37,5 | D |

Source : Nochahrli, 2005

De plus, selon Nochahrli (2005), les files d'attente obtenues avec Synchro/SimTraffic sont supérieures de 22% à celles mesurées sur le terrain. Elles sont inférieures de 27% avec TSIS/CORSIM. Ceci peut s'expliquer par le fait que le logiciel Synchro/SimTraffic permet de modifier les valeurs par défaut des différents paramètres par mouvement alors que le logiciel TSIS/CORSIM limite cette intervention à l'approche et non à chacun des mouvements. Cette différence a un impact sur la capacité de l'intersection, les retards et les files d'attente. La

modélisation avec Synchro requiert un tiers moins de temps qu'avec TSIS dû à une plus grande facilité d'utilisation du logiciel.

HCS vs HCM/Cinema vs Synchro

Burelle, Foster et Terhzaz (2013) ont fait une étude comparative des trois logiciels alors les plus utilisés au Québec pour l'analyse de la circulation, soit les logiciels HCS2010 (version 6.41), le logiciel Synchro (version 7.0) et le logiciel HCM/Cinema 2000 (qui inclut la version 3.09 de SIG/Cinema). Le Tableau 1.4 présente les résultats obtenus avec ces logiciels lors de l'analyse d'un carrefour à trois branches en milieu urbain.

Tableau 1.4 : Comparaison des résultats obtenus avec les logiciels HCS2010, HCM/Cinema et Synchro

| | HCS2010 6.41 | | HCM/Cinema 2000 | | Synchro 7.0 | |
|-----------|--------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------|
| Direction | Retard | Niveau de service | Retard | Niveau de service | Retard | Niveau de service |
| Est | 10,9 | B | 9,5 | A | 10,2 | B |
| Ouest | 10,9 | B | 10,0 | B | 10,6 | B |
| Nord | 29,1 | C | 39,8 | D | 30,7 | C |
| Global | 20,7 | C | 26,2 | C | 21,3 | C |

Source : Burelle, Foster et Terhzaz, 2013

Les logiciels HCS2010 et Synchro présentent des résultats très similaires. L'écart est inférieur à 5% entre ces deux logiciels. Par contre, les retards obtenus avec ces deux logiciels ont des écarts de l'ordre de 30% avec ceux obtenus avec le logiciel HCM/Cinema.

Les paramètres des divers logiciels expliquent ces écarts. Le logiciel HCS2010 ne permet pas d'entrer toutes les informations relevées sur le terrain dont la largeur des voies de circulation et le pourcentage de véhicules lourds. Le logiciel Synchro est plus difficile à utiliser que les deux autres logiciels et certaines entrées de données sont optionnelles notamment pour les temps de vert, jaune et rouge. C'est le logiciel HCM/Cinema qui a l'interface d'utilisation la plus facile. Elle minimise la possibilité de faire des erreurs lors de l'entrée des données.

1.4.5 Synthèse des logiciels

Tous les logiciels analysés font la même chose : ils déterminent des niveaux de service à partir de retards, soit le temps pris en secondes par véhicule pour traverser le carrefour. Ce qui diffère d'un logiciel à l'autre, outre la facilité d'utilisation, ce sont les valeurs des paramètres par défaut, soit les valeurs déjà indiquées dans le logiciel, qui servent aux différents calculs.

Afin d'obtenir des résultats optimaux, il est très important de remplacer toutes les valeurs par défaut de ces paramètres par des valeurs mesurées sur le terrain ou calculées à partir des données relevées sur le terrain.

De tous les logiciels analysés précédemment, c'est le logiciel HCM/Cinema qui est le plus facile d'utilisation et qui permet le plus d'entrer tous les paramètres mesurés sur le terrain. Le logiciel HCM/Cinema a toutefois été retiré du marché. KLD Associates Inc. ont abandonné la mise à jour du logiciel lors de la sortie de la 5^e version du Highway Capacity Manual (TRB) en 2010. Les utilisateurs du logiciel ont été prévenus à la fin de l'année 2010.

Les logiciels Synchro et HCS permettent d'obtenir des résultats similaires si toutes les valeurs par défaut, déjà inscrites dans les logiciels, sont remplacées par les valeurs réelles mesurées ou calculées à partir des données relevées sur le terrain. Ils sont toutefois moins faciles d'utilisation que le logiciel HCM/Cinema.

1.5 Conclusion

Cette première partie de la thèse a présenté les différentes analyses qui doivent être réalisées lors de tout projet de conception routière afin de bien connaître le territoire à l'étude, bien identifier les problèmes et bien les solutionner.

Il ne faut jamais lésiner sur la collecte des données de base. Il est très important de relever sur le terrain, de façon précise, toutes les données nécessaires pour effectuer une analyse optimale et réaliste. Faire des hypothèses pour estimer des valeurs manquantes peut revenir plus dispendieux et peut conduire à mal identifier le problème réel et donc apporter la mauvaise solution au problème. Tout bon ingénieur devrait toujours aller constater l'état des lieux sur le terrain avant de réaliser son analyse.

Les données à relever sur le terrain concernent les caractéristiques géométriques, les dispositifs de régulation de la circulation déjà en place et les données sur la circulation existante, incluant les statistiques d'accidents.

La circulation future à un carrefour en milieu urbain pourra être estimée à partir des données sur le développement futur du secteur à l'étude. Le manuel *Trip Generation* de l'Institute of Transportation Engineers sert de base pour les calculs de génération des déplacements en Amérique du Nord.

Pour réaliser les calculs de capacité et obtenir les niveaux de service actuels et futurs, différents logiciels sont à la disposition des concepteurs. Or, les valeurs par défaut des différents paramètres, utilisés pour les calculs dans les logiciels, diffèrent d'un logiciel à l'autre. Ces valeurs ne sont pas nécessairement représentatives de la situation réelle observée sur le terrain. Il est donc très important de remplacer toutes les valeurs déjà inscrites dans les logiciels, et qui peuvent être modifiées, par des valeurs réelles mesurées ou calculées à partir des données relevées sur le terrain.

Bien qu'il y aura toujours des différences entre les calculs des différents logiciels, il est possible de diminuer les écarts entre les logiciels utilisés en adaptant les différents paramètres au projet analysé, c'est-à-dire en modifiant les paramètres par défaut du logiciel. Les deux principaux logiciels utilisés au Québec, soit Synchro et HCS, permettent d'obtenir des résultats similaires lorsque ces paramètres sont modifiés.

La seconde partie de la thèse traite de divers dispositifs physiques que le concepteur routier peut recommander lors de son analyse afin d'améliorer la sécurité routière sur le tronçon étudié. La fluidité de la circulation à tout prix n'étant plus la norme.

PARTIE II

DISPOSITIFS PHYSIQUES

CHAPITRE 2 : CARREFOURS GIRATOIRES

CHAPITRE 3 : SIGNALISATION

CHAPITRE 4 : STATIONNEMENTS

**CHAPITRE 5 : MODÉRATION DE LA
CIRCULATION EN VILLE**

La seconde partie de la thèse traite de divers dispositifs physiques qui peuvent être utilisés par le concepteur routier pour améliorer la sécurité routière en milieu urbain.

Ainsi, le concepteur routier ne doit plus nécessairement essayer de créer des aménagements qui offriront les meilleurs niveaux de service et la plus grande fluidité aux véhicules motorisés. Il doit d'abord et avant tout s'assurer de créer des aménagements routiers conviviaux qui permettront d'améliorer la sécurité routière et qui permettront à chaque utilisateur du réseau (piéton, cycliste, automobiliste, camionneur ou conducteur de transport en commun) d'y trouver sa place.

Parmi les dispositifs physiques qui peuvent être utilisés pour atteindre des objectifs de sécurité routière, il y a :

- l'implantation de carrefours giratoires (Chapitre 2) et la sensibilisation au comportement à adopter dans ce type d'aménagement;
- la bonne utilisation de la signalisation (Chapitre 3) horizontale et verticale sur le réseau routier, allant du marquage à la signalisation de travaux routiers en passant par l'emplacement des plaques de nom de rue;
- la conception de stationnements (Chapitre 4) sur rue et hors-rue qui répondent aux besoins et qui animent le secteur;
- toutes les mesures de modération de la circulation (Chapitre 5) qui permettent de faire ralentir naturellement les véhicules motorisés et de créer des ambiances.

Tous ces dispositifs sont vus en détails dans la seconde partie de la thèse.

CHAPITRE 2

CARREFOURS GIRATOIRES

2.0 Introduction

La conception d'un carrefour nécessite souvent des compromis judicieux (surtout en milieu bâti) afin d'offrir des niveaux acceptables de service et de sécurité pour les véhicules, les piétons et les autres usagers du réseau de rues. Le carrefour est l'une des composantes les plus importantes de la route puisque c'est le point où le nombre de conflits et le potentiel d'accidents sont les plus élevés (Transports Québec, 2018c). Il faut donc porter une grande attention à l'aménagement des carrefours. Les principaux critères à considérer dans le choix du type d'aménagement d'un carrefour donné sont : le débit de circulation; le niveau de service à donner aux usagers de la route; la disposition de la signalisation (feux de circulation); la topographie des lieux; et l'espace disponible (St-Jacques, 2017a).

Il existe quatre types de carrefours, soit les carrefours à trois branches (en T ou en Y); les carrefours à quatre branches; les carrefours à branches multiples (5 branches ou plus); et les carrefours giratoires.

Bien que très populaire en Europe et ailleurs dans le monde, ce n'est qu'à la fin des années 1990 que le carrefour giratoire a fait son apparition au Québec. Ce Chapitre dresse un portrait des carrefours giratoires implantés au Québec au cours des vingt dernières années.

2.1 Historique des carrefours giratoires

L'invention du carrefour à giration revient au Français Eugène Hénard, architecte à la Ville de Paris, au début du XXe siècle (Alonzo, 2005). Dans le but de gérer l'abondante circulation parisienne, Hénard eut l'idée de créer, en 1906, un carrefour de forme circulaire contenant un obstacle qui obligerait les conducteurs à le contourner dans un sens prédéterminé (Pellecuer, 2003). Les deux premiers ronds-points de Paris virent le jour sur la place de l'Étoile et celle de la Nation en 2007 (Jacquemart, 1998; Taekratok, 1998; Pellecuer, 2003).

Parallèlement, en 1904, William Eno créa le Columbus Circle, soit le premier rond-point de New York destiné à améliorer les conditions de circulation (Jacquemart, 1998; Taekratok, 1998; Najafi et Jivacate, 2002; Pellecuer, 2003).

La popularisation de l'automobile dans les années 1950 a toutefois entraîné une importante augmentation de la circulation et de la congestion aux carrefours aménagés en ronds-points (Jacquemart, 1998 ; Taekratok, 1998 ; Russell et al., 2002; Pellecuer, 2003).

Des études réalisées en Grande-Bretagne ont montré que le fait de donner la priorité aux véhicules circulant dans l'anneau, et en installant des panneaux de « cédez le passage » aux entrées des carrefours giratoires, permettait de réduire le temps d'attente des usagers tout en augmentant la capacité du carrefour. Suite au succès de ces expérimentations, la règle de priorité à l'anneau a fait son apparition en Grande-Bretagne en 1966 (Taekratok, 1998; Russell et al., 2002; Pellecuer, 2003; Beaupré et St-Jacques, 2010).

Les carrefours giratoires se sont répandus un peu partout en Europe dans les années 1980. En 2000, il y avait des carrefours giratoires dans des pays aux caractéristiques climatiques et culturelles très diverses dont l'Afrique du Sud, l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, la Chine, le Danemark, les Émirats Arabes Unis, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grande-Bretagne, la Hongrie, Israël, l'Italie, la Jordanie, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, le Portugal, la Slovénie, la Suède, la Suisse et la Thaïlande (Jacquemart, 1998; CERTU, 2000a; Najafi et Jivacate, 2002; Russell et al., 2002; Pellecuer, 2003).

Le premier carrefour giratoire canadien a été construit à Ville St-Laurent, au Québec, en 1998 (Beaupré et St-Jacques, 2010).

2.2 Différences entre carrefour giratoire et rond-point

Considérés comme des synonymes par l'Office québécois de la langue française, le carrefour giratoire et le rond-point présentent peu de différences. Leurs dissemblances sont au niveau de la priorité dans le carrefour. Ainsi, le rond-point est régi par la règle de priorité à droite alors que le carrefour giratoire est régi par la règle de priorité à l'anneau (Beaupré et St-Jacques, 2010).

Le carrefour giratoire est constitué principalement d'un îlot central surélevé placé au centre du carrefour et ceinturé par une chaussée annulaire à sens unique obligeant la circulation à le contourner par la droite. Les véhicules entrant sur la chaussée annulaire doivent céder le passage à ceux y circulant déjà (Pellecuer et St-Jacques, 2008).

Le ministère des Transports du Québec (Transports Québec, 2002) précise que le carrefour giratoire est un carrefour comportant trois branches ou plus, dans lequel les courants convergent puis divergent sur une chaussée à sens unique entourant un îlot central. En Amérique du nord, la circulation sur cette chaussée se fait dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Bien que le carrefour giratoire soit historiquement issu du rond-point, il se différencie de celui-ci par quelques caractéristiques non négligeables (Jacquemart, 1998; Taekratok, 1998; Pellecuer et St-Jacques, 2008) :

- Le carrefour giratoire donne la priorité aux véhicules circulant sur l'anneau alors que le rond-point accorde la priorité aux véhicules entrant sur l'anneau;
- Il y a un panneau Cédez à toutes les approches dans un carrefour giratoire alors qu'un autre mode de contrôle, soit des panneaux STOP ou des feux de circulation, peut être utilisé dans un rond-point;
- Il n'y a pas de stationnement dans un carrefour giratoire mais il peut y en avoir dans un rond-point;
- La traversée des piétons se fait au niveau des approches dans un carrefour giratoire alors qu'ils peuvent traverser par l'îlot central dans un rond-point;
- Les îlots séparateurs sont obligatoires dans un carrefour giratoire mais facultatifs dans un rond-point;
- La déflexion est obligatoire dans un carrefour giratoire mais facultative dans un rond-point. La déflexion a pour but de ralentir la circulation et de forcer les véhicules entrant dans le carrefour giratoire à céder le passage aux véhicules circulant déjà sur l'anneau.

2.3 Dimensions des carrefours giratoires

La dimension d'un carrefour giratoire est établie en fonction de la capacité à offrir, du type de véhicule y circulant et du niveau de service désiré (Beaupré, 2011). St-Jacques (2017a) regroupe les carrefours giratoires en trois catégories selon le diamètre de l'îlot central. Ainsi, les plus petits giratoires ont un diamètre compris entre 1,0 m et 2,5 m (Figure 2.1); les giratoires

intermédiaires ont un diamètre entre 2,5 m et 25 m (Figure 2.2); les plus grands giratoires ont un diamètre supérieur à 25 m (Figure 2.3).



Figure 2.1 : Petit giratoire (La Montagne, France)
Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 2.2 : Giratoire intermédiaire (Port Barcarès, France)
Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 2.3 : Grand giratoire (Chartres, France)
Photographie : Michèle St-Jacques

Au Québec, le ministère des Transports regroupe plutôt les giratoires en quatre catégories selon leurs rayons, soit les minis giratoires (rayon de 7,5 à 12 m), les petits giratoires (rayon de 12 à 15 m), les moyens giratoires (rayon de 15 à 20 m en milieu urbain et rayon de 17 à 25 m en milieu rural) et les grands giratoires (rayon de 20 à 27 m en milieu urbain et rayon de 27 à 30 m en milieu rural) (Transports Québec, 2002). Il n'existe pas au Québec de mini giratoire comme on en retrouve en Europe (Figures 2.4 et 2.5).



Figure 2.4 : Mini giratoire (Cap Breton, France)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 2.5 : Mini giratoire (Londres, Angleterre)

Photographie : Alexandre Beaupré

2.4 Avantages et inconvénients des carrefours giratoires

Au début des années 2000, avec l'apparition des carrefours giratoires au Québec, l'Association québécoise du transport et des routes (AQTr) a formé un Comité de travail sur les carrefours giratoires. Ce Comité était composé de professionnels œuvrant dans le domaine des routes, du transport et de la sécurité routière. Ces professionnels provenaient du ministère des Transports

du Québec (MTQ), de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), de firmes de génie conseil et d'universités.

Afin de faire le point sur l'implantation de carrefours giratoires au Québec, en soulignant l'importance de bien former les concepteurs et d'informer les usagers de la route, le Comité a organisé, à l'automne 2002, le colloque « Des carrefours giratoires pour le Québec ». Le Guide de conception des carrefours giratoires, préparé par le ministère des Transports du Québec (MTQ), a été lancé lors de ce colloque (Transports Québec, 2002).

Lors de ce colloque, sans vouloir encourager ni décourager l'implantation des carrefours giratoires au Québec, St-Jacques et al. (2002) ont sensibilisé les décideurs et les concepteurs du Québec aux avantages mais aussi aux contraintes des carrefours giratoires.

Parmi ces avantages, il y a (St-Jacques et al., 2002) :

- un fort attrait urbanistique (le carrefour peut être aménagé pour bien représenter la région traversée (Figure 2.6));



Figure 2.6 : Attrait urbanistique d'un carrefour giratoire (Narbonne, France)

Photographies : Michèle St-Jacques

- une bonne délimitation des entrées de ville;
- un meilleur aspect pour le voisinage (un aménagement paysager de qualité peut être intégré au centre du carrefour giratoire (Figures 2.7));



Figure 2.7 : Aménagement paysager d'un carrefour giratoire (Dourdan, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

- une diminution des points de conflits possibles par rapport à un carrefour traditionnel géré par des panneaux STOP ou des feux de circulation (Figure 2.8);

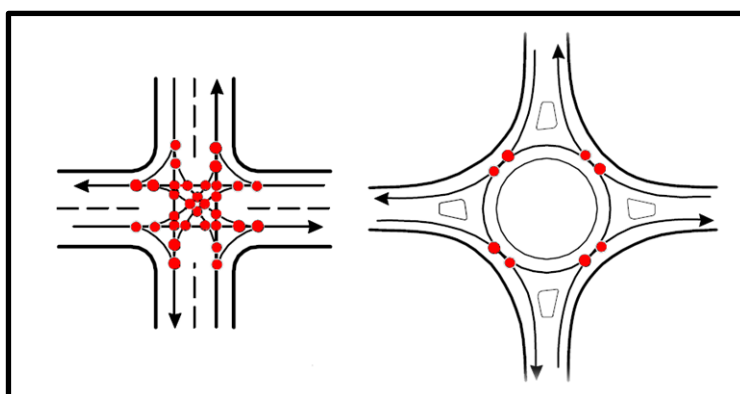


Figure 2.8 : Points de conflits selon le type de carrefours

Source : Beaupré, 2011

- une sécurité accrue car moins d'accidents graves (les face à face sont pratiquement impossibles dans un carrefour giratoire si les conducteurs respectent les règles de circulation);
- une plus grande capacité (le carrefour giratoire peut accueillir plus de véhicules qu'un carrefour en croix durant un temps donné);
- un retard plus faible (le temps pris pour traverser le carrefour est moindre que dans un carrefour en croix géré par des panneaux STOP ou des feux de circulation);

- une vitesse de circulation réduite (un carrefour giratoire bien conçu ne permet pas de circuler à vitesse élevée à l'intérieur du carrefour);
- une réduction de la file d'attente (les véhicules n'ayant pas à s'immobiliser, ils entrent plus rapidement dans le carrefour giratoire, que dans un carrefour en croix géré par des panneaux STOP ou des feux de circulation, réduisant ainsi la file de véhicules qui attend pour emprunter le carrefour);
- un régulateur dynamique de la circulation (les véhicules n'ont pas à s'immobiliser avant d'entrer dans le carrefour; ils n'ont qu'à céder le passage si des véhicules sont déjà dans l'anneau);
- un écoulement fluide (les véhicules n'ont pas à s'immobiliser avant d'entrer dans le carrefour; ils n'ont qu'à céder le passage si des véhicules sont déjà dans l'anneau);
- une possibilité de demi-tour;
- une émission sonore polluante diminuée (un cédez plutôt qu'un panneau STOP ou un feu rouge diminue l'utilisation des freins);
- un coût d'opération et de maintenance moindre (il s'agit d'un aménagement physique qui ne fait pas appel à de l'électronique);
- une facilité de tourner à gauche (les véhicules n'ont pas à croiser des véhicules venant en sens inverse pour effectuer leur manœuvre de virage à gauche).

Au niveau des inconvénients, St-Jacques et al. (2002) mentionnent :

- une insécurité pour les piétons et les cyclistes (ils ne savent pas si les véhicules motorisés les laisseront passer);
- un empêchement à prioriser le transport en commun (la mise en place d'une voie réservée prioritaire pour le transport en commun ne peut pas être aménagée dans un carrefour giratoire);

- une perte du caractère prioritaire sur les voies principales (il n'y a pas de distinction entre les voies secondaires et les voies principales pour accéder au carrefour giratoire);
- un mauvais rendement si le débit est très fort avec peu de tourne-à-gauche (des véhicules peuvent avoir de la difficulté à s'insérer si les débits ne sont pas égaux à toutes les approches);
- un mauvais rendement si le flux de l'approche principale est continu;
- une emprise importante (l'aménagement d'un carrefour giratoire nécessite plus d'espace que l'aménagement d'un carrefour en croix géré par des panneaux STOP ou des feux de circulation);
- une incompatibilité avec une coordination de feux à proximité (si un feu de circulation se situe à proximité d'un carrefour giratoire, la file de véhicules immobilisés au feu rouge peut entraîner un refoulement dans le carrefour giratoire);
- une insécurité pour les personnes handicapées ou malvoyantes (les véhicules circulant en continu, les personnes handicapées ou malvoyantes peuvent avoir plus de difficultés à s'engager pour traverser le carrefour);
- une surcharge dynamique sur le revêtement routier (tous les véhicules effectuent un mouvement de virage entraînant donc une surcharge pour le revêtement routier);
- un arrachement du béton bitumineux;
- une insécurité chez certains automobilistes pour aborder ces carrefours (la méconnaissance du comportement à adopter dans un carrefour giratoire peut entraîner une insécurité et un risque d'accident);
- une possibilité de confusion si des carrefours giratoires se succèdent;

- un dévers dangereux en cas de verglas (le véhicule peut glisser vers le centre du carrefour giratoire si le carrefour n'a pas été conçu correctement).

2.5 Mise en place de carrefours giratoires au Québec

Le premier giratoire moderne canadien a été construit à Ville St-Laurent, au Québec, dans un quartier industriel en 1998 (Figure 2.9). Le premier giratoire sur le réseau du ministère des Transports du Québec a été construit à Val d'Or en 2001.



Figure 2.9 : Premier carrefour giratoire du Québec (Ville St-Laurent)

Photographie : Ministère des Transports du Québec

En 2009, il y avait 220 carrefours giratoires au Canada dont 80 au Québec (Beaupré, 2011). La progression est de l'ordre de 5 à 10 carrefours giratoires construits par an. À titre comparatif, en 2011, il y avait plus de 30 000 carrefours giratoires en France et plus de 4 000 aux États-Unis (progression supérieure à 350 giratoires par an) (St-Jacques, 2017a). Le nombre de carrefours giratoires actuel au Québec n'est pas comptabilisé mais, en 2014, il y en avait 42 sur le réseau du ministère des Transports du Québec (MTQ, 2016).

Malgré le fait que le nombre de constructions de carrefours giratoires au Québec est toujours en progression, aucune campagne de sensibilisation n'a été réalisée à l'échelle provinciale. Le carrefour giratoire n'est pas réglementé dans le Code de la sécurité routière et il ne faisait l'objet d'aucune question aux examens de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) en 2010 (Beaupré et St-Jacques, 2010). Il est toutefois possible de trouver de l'information sur les carrefours giratoires sur le site web du ministère des Transports du Québec (MTQ, 2016) (<https://www.mtq.gouv.qc.ca/usagers/reseauroutier/Pages/Carrefour-giratoire.aspx>).

2.6 Comportement des usagers québécois dans un carrefour giratoire

Le site du ministère des Transports du Québec (2016) précise que le comportement à suivre dans un carrefour giratoire est le suivant :

- 1- Avant de s'engager dans le carrefour giratoire, le conducteur doit céder le passage aux piétons et par la suite aux véhicules circulant dans le carrefour.
- 2- Le conducteur doit s'engager dans le carrefour giratoire dans le sens inverse des aiguilles d'une montre tout en respectant la limite de vitesse affichée. Il doit céder le passage aux véhicules qui y circulent déjà. Il est possible qu'il doive effectuer un arrêt complet avant de s'engager dans le carrefour si la circulation est dense.
- 3- Une bande franchissable au centre de l'anneau du carrefour giratoire facilite la circulation des véhicules lourds. Les camionneurs, chauffeurs d'autobus et chauffeurs d'autocars peuvent circuler sur cette bande franchissable.
- 4- Le conducteur ne doit pas s'arrêter dans le carrefour giratoire et doit annoncer ses intentions de sortie du carrefour au moyen de ses feux clignotants.

La Figure 2.10 illustre le comportement à adopter dans un carrefour giratoire.

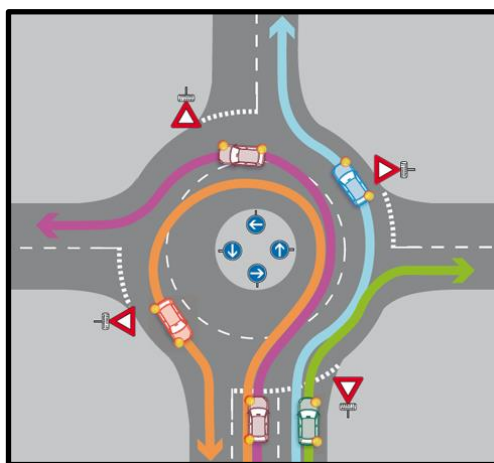


Figure 2.10 : Comportement à adopter dans un carrefour giratoire

Source : Permiscole, 2016

St-Jacques et al. (2002) ont exprimé leurs craintes aux décideurs et concepteurs du Québec quant à l'implantation de carrefours giratoires sur le territoire québécois lors du colloque « *Des carrefours giratoires pour le Québec* » à l'automne 2002. Ces craintes étaient reliées aux conditions climatiques particulières du Québec; aux types de véhicules qui circulent sur les routes du Québec; aux pneus utilisés; à l'irrespect du Code de la Sécurité routière; et à la non connaissance du Code de la Sécurité routière.

St-Jacques et al. (2002) proposaient de concevoir des giratoires au Québec en trois temps, soit:

- 1- Instaurer des demi-tours et voir comment les automobilistes et les véhicules réagissent.
- 2- Faire des giratoires idéaux basés sur l'expérience française: zone de 50 km/h, pas de camion, pas de piéton, pas de cycliste, débits égaux sur toutes les approches.
- 3- S'inspirer de la culture « temporaire » venue de la Hollande (Pays-Bas) en testant avec des balises en plastique un aménagement provisoire (Figure 2.11).



Figure 2.11 : Aménagements provisoires de carrefour giratoire (Route principale 5, Suisse)

Photographies : Michèle St-Jacques

Une étude réalisée par Beaupré et St-Jacques en 2010 a confirmé les craintes de St-Jacques et al. (2002). Un portrait du comportement des usagers québécois a été réalisé à partir de multiples observations aux différents carrefours giratoires du Québec et d'extraits vidéo entre 2007 et 2009. Les carrefours giratoires analysés sont situés dans 6 régions administratives du Québec représentant 67 % de la population. Les extraits vidéo totalisent une durée globale de sept heures et demie et ont été réalisés aléatoirement entre 8 h et 20 h.

L'étude sur le comportement des usagers a montré un comportement erratique à toutes les minutes dans les carrefours giratoires québécois (Tableau 2.1). Elle a aussi révélé que 76 % des mauvais comportements observés étaient dus à la méconnaissance de la règle de priorité à l'anneau, principe de base du carrefour giratoire. Ainsi, des véhicules s'immobilisent sans raison aux approches ou dans l'anneau, alors que d'autres véhicules omettent de céder le passage aux approches.

Tableau 2.1 : Fréquence des comportements erratiques observés dans les carrefours giratoires du Québec

| Type de comportement observé | Nombre d'observations | Fréquence observée (%) | Fréquence observée (min.) |
|---|-----------------------|------------------------|---------------------------|
| Véhicules en arrêt sans raison aux approches | 151 | 47 | 3 |
| Véhicules omettant de céder le passage aux approches | 54 | 17 | 8 |
| Véhicules cédant le passage en arrêtant sur l'anneau | 39 | 12 | 11 |
| Véhicules circulant à des vitesses excessivement basses | 33 | 10 | 13 |
| Traverses illégales de piétons | 21 | 7 | 21 |
| Véhicules circulant à des vitesses excessivement hautes | 7 | 2 | 63 |
| Véhicules s'engageant en sens inverse | 7 | 2 | 63 |
| Véhicules omettant de céder le passage aux piétons ou aux cyclistes | 7 | 2 | 63 |
| Véhicules en marche arrière sur l'anneau | 2 | 1 | 222 |
| Total | 321 | 100 | 1 |

Source : Beaupré et St-Jacques, 2011

Parmi les autres comportements erratiques observés, il y a :

- des véhicules qui circulent à des vitesses très basses ou très élevées dans le carrefour;
- des piétons qui traversent au mauvais endroit (Figure 2.12);



Figure 2.12 : Mauvais comportement d'un piéton

Photographie : Alexandre Beaupré

- des véhicules qui s'engagent dans le carrefour en sens inverse (Figure 2.13);

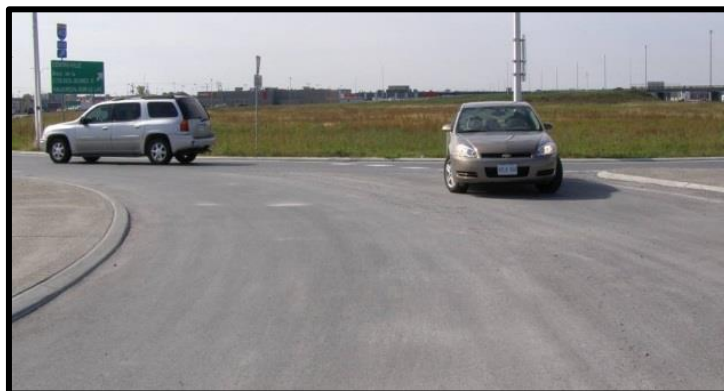


Figure 2.13 : Véhicule circulant en sens inverse

Photographie : Alexandre Beaupré

- des véhicules qui s'immobilisent dans le carrefour giratoire;
- des véhicules qui ne cèdent pas le passage aux cyclistes et aux piétons;
- des véhicules qui font marche arrière dans le carrefour giratoire.

Pellecuer et St-Jacques (2008) mentionnent qu'aucune campagne de sensibilisation sur le fonctionnement d'un carrefour giratoire n'a été réalisée à l'échelle de la province. Ce sont plutôt des campagnes de sensibilisation locales qui sont privilégiées lors de l'implantation de nouveaux carrefours giratoires. Ces campagnes sont menées sur de courtes périodes et ne

touchent pas l'ensemble des usagers, particulièrement si l'aménagement se situe dans une région touristique ou près d'un axe de transit.

Beaupré et St-Jacques (2008 et 2011) mentionnent que la non uniformité des carrefours giratoires au niveau de leur géométrie et de leur signalisation influence négativement le comportement des usagers de la route et ne favorise pas la compréhension des usagers. Il existe actuellement une problématique au niveau de la signalisation dans les carrefours giratoires du Québec (Beaupré et St-Jacques, 2008; Beaupré et St-Jacques, 2011; Beaupré, 2011). Certains exemples de signalisation observée à différents carrefours giratoires du Québec sont présentés aux Figures 2.14 à 2.18. Le manque de connaissances des usagers de la route n'est donc pas la seule cause des comportements erratiques.



Figure 2.14 : Signalisation observée dans un carrefour giratoire (Chicoutimi, Québec)

Photographie : Alexandre Beaupré



Figure 2.15 : Signalisation observée dans un carrefour giratoire (Lebourgneuf, Québec)

Photographie : Alexandre Beaupré



Figure 2.16 : Signalisation observée dans un carrefour giratoire (Chicoutimi, Québec)

Photographie : Alexandre Beaupré



Figure 2.17 : Signalisation observée dans un carrefour giratoire (Boucherville, Québec)

Photographie : Alexandre Beaupré



Figure 2.18 : Signalisation observée dans un carrefour giratoire (Chambly, Québec)

Photographie : Ministère des Transports du Québec

Beaupré et St-Jacques (2010 et 2011) ont démontré que le manque de connaissances des usagers de la route sur le comportement à adopter dans un carrefour giratoire entraîne des comportements hasardeux. Or, ces mauvais comportements peuvent diminuer les avantages des carrefours giratoires.

Beaupré et St-Jacques (2010) ont fortement recommandé de réaliser une campagne de sensibilisation à l'échelle provinciale sur les carrefours giratoires. Ils recommandent aussi de continuer à faire des campagnes de sensibilisation locales suite à l'implantation de carrefours giratoires et d'entreprendre des actions afin d'assurer le développement de carrefours giratoires sécuritaires et uniformes au Québec.

Au niveau du comportement des usagers de la route dans un carrefour giratoire, ailleurs dans le monde, la littérature sur le sujet est plutôt rare. Toutefois, elle a permis d'apprendre qu'en France les manuels des cours de conduite traitent de façon détaillée du comportement à adopter dans un carrefour giratoire. Les conducteurs de véhicules motorisés savent donc comment se comporter dans un tel aménagement. La signalisation qui se retrouve dans un carrefour giratoire est homogène à travers l'Europe, cela aide à la compréhension de l'aménagement. Les problèmes de comportement qui sont parfois observés concernent les cyclistes et les piétons (Beaupré, 2011; Retting et al., 2006).

Aux États-Unis, Sarkar (2003) précise que l'information sur les carrefours giratoires est incomplète dans les manuels de conduite américains car il n'y a pas de carrefours giratoires dans tous les états américains. Cela peut donc entraîner des problèmes de comportement car certains conducteurs ne sont pas sensibilisés à ce type d'aménagement.

Au Mali, les conducteurs savent comment se comporter car ils « suivent le courant ». La circulation à vitesse modérée accentue une bonne coexistence entre les véhicules motorisés, les deux roues et les piétons selon Maiga (2006).

En Palestine, une étude réalisée par Ewaida (2015) indique que si 88% des conducteurs connaissent les règles de priorité, seulement 30% les respectent. Là aussi une campagne majeure de sensibilisation au comportement à adopter est recommandée.

2.7 Logiciels de conception

Il existe différents logiciels de conception de carrefour giratoire. Parmi ceux-ci, il y a les logiciels RODEL (Angleterre); SIDRA (Australie); GIRABASE (France) et Synchro (USA). Selon le Comité sur les carrefours giratoires (2002), c'est le logiciel de conception RODEL qui a donné les meilleurs résultats au niveau de la conception de carrefours giratoires au Québec.

2.8 Autres carrefours circulaires au Québec

En plus des carrefours giratoires et des ronds-points, il existe d'autres types de carrefours circulaires au Québec, soit des carrefours circulaires pour faciliter la circulation dans les routes sans issue et des carrefours circulaires pour favoriser les demi-tours.

2.8.1 Carrefours circulaires pour routes sans issue

Des aménagements en forme de carrefours circulaires sont réalisés depuis quelques années au Québec dans les routes sans issue. La Figure 2.19 montre un carrefour circulaire à proximité d'une école primaire. Avec cet aménagement, les manœuvres sont facilitées et rendues plus sécuritaires car les véhicules n'ont plus à faire de manœuvres à la renverse.



Figure 2.19 : Carrefour circulaire pour route sans issue (Ile des Sœurs, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

2.8.2 Carrefours circulaires pour demi-tour

Une autre forme de carrefour circulaire est utilisée au Québec pour des raisons de sécurité. Il s'agit des carrefours circulaires pour demi-tour. Ils sont majoritairement utilisés dans la région de Québec sur la route 138. Ils servent principalement aux véhicules lourds qui désirent faire

des demi-tours. Au lieu de se présenter aux carrefours signalisés et d'effectuer un virage en U, le véhicule tourne à droite, emprunte un carrefour circulaire spécialement aménagé en bordure de la route et revient au carrefour principal signalisé qui lui permet d'effectuer, de façon sécuritaire, sa manœuvre de virage à gauche (Figure 2.20).



Figure 2.20 : Carrefour circulaire pour demi-tour (Région de Québec, Québec)

Photographies : Michèle St-Jacques

2.9 Conclusion

Bien que très populaire en Europe et ailleurs dans le monde dans les années 1980, ce n'est qu'à la fin des années 1990 que le carrefour giratoire a fait son apparition au Québec. Il y a maintenant plus d'une centaine de carrefours giratoires au Québec. Ceux-ci se retrouvent autant en milieu rural qu'en milieu urbain ou suburbain.

Malgré le fait que le nombre de constructions de carrefour giratoire est toujours en progression, aucune campagne de sensibilisation n'a encore été réalisée à l'échelle provinciale au Québec. Les utilisateurs peuvent toutefois se référer au site internet du ministère des Transports du Québec pour voir le comportement à adopter dans un carrefour giratoire.

Une analyse du comportement des usagers québécois, réalisée à partir d'observations aux différents carrefours giratoires du Québec et d'extraits vidéo, a montré qu'un comportement erratique pouvant entraîner un accident est observé à toutes les minutes dans les carrefours giratoires québécois. Plus des trois quarts des mauvais comportements observés sont dus à la méconnaissance de la règle de priorité à l'anneau, principe de base du carrefour giratoire.

Une attention particulière devrait également être apportée à la signalisation utilisée lors de la conception de carrefours giratoires. Celle-ci est actuellement non uniforme aux différents carrefours giratoires québécois. L'uniformité pourrait faciliter la compréhension du comportement à adopter dans un carrefour giratoire.

CHAPITRE 3

SIGNALISATION

3.0 Introduction

Depuis que les sentiers, chemins et routes existent, divers types de signalisation ont été mis en place pour faciliter les déplacements des différents usagers et assurer leur sécurité. Afin d'avoir un impact positif sur la sécurité routière, la signalisation doit être uniforme, comprise par tous, simple et claire (RGRA, 1995).

Les divers équipements de signalisation doivent offrir un confort de conduite et aider à la compréhension de la voie empruntée (RGRA, 1995). En plus d'être visibles et lisibles, les différents signaux utilisés doivent tenir compte de l'acuité visuelle des conducteurs, du milieu traversé, de l'éclairage et des conditions météorologiques.

Ce chapitre traite de cinq types de signalisation, soit la signalisation lumineuse, la signalisation horizontale, la signalisation verticale, la supersignalisation et la signalisation de travaux.

La signalisation lumineuse fait ici référence à l'utilisation de feux de circulation pour gérer la circulation aux carrefours. La signalisation horizontale correspond au marquage routier. La signalisation verticale concerne les panneaux de signalisation, installés sur poteaux, fûts, potences ou portiques, qui facilitent les déplacements des divers utilisateurs du réseau routier. La supersignalisation représente la signalisation d'indication dont les panneaux à messages variables et les panneaux de nom de rue.

Une critique de la signalisation de travaux actuellement utilisée au Québec complète ce chapitre.

3.1 Signalisation lumineuse (Feux de circulation)

Le choix et la conception des dispositifs de régulation de la circulation sont des considérations qui relèvent de la gestion de la circulation routière. Cinq modes de réglementation de la priorité sont envisageables: la règle de priorité à droite; la priorité donnée à l'une des routes à l'aide de panneaux Cédez le passage; la priorité donnée à l'une des routes à l'aide de deux panneaux

STOP; la priorité égale sur les deux routes à l'aide de panneaux STOP à toutes les approches; la régulation par Feux de circulation (Transports Québec, 2018d).

Le principe des « routes nues » fait aussi de plus en plus son apparition sur la planète. Le créateur de ce principe, datant de 1970, est Hans Mondermon, ingénieur aux Pays-Bas. Le principe des « routes nues » rend les usagers de la route responsables et acteurs de leur propre sécurité. Lacasse (2012) mentionne que l'environnement dicte le comportement à adopter dans ce type d'aménagement. Les seules règles de circulation consistent à rouler à droite et à accorder la priorité à droite. L'apparente insécurité contribue à promouvoir la vraie sécurité. Depuis 2004, des « shared space » ont fait leur apparition au Danemark, en Allemagne, en Belgique, aux Pays-Bas, en Angleterre, en Suède, en Australie et en Floride (Lacasse, 2012). Deux rues ont été aménagées selon ce principe à Québec (Québec), soit la rue Sault au Matelot dans le Vieux-Québec et la rue Sainte-Claire dans le quartier Saint-Jean-Baptiste.

Les critères généraux pour adopter une réglementation à un carrefour tiennent compte : de la sécurité; de la visibilité; de la capacité et du débit des deux routes; des retards et de la longueur des files d'attente; de la fluidité de la circulation; de la vitesse d'approche; de la classe de route; de la consommation de carburant et de la pollution de l'air; et du confort (St-Jacques, 2017a).

La consommation d'énergie varie selon le type de contrôle à l'intersection. Ainsi, selon St-Jacques (2017a), pour une vitesse d'approche de 50 km/h, aucune attente pour un arrêt au carrefour et une diminution de la vitesse à 18 km/h pour un Cédez, la consommation d'énergie journalière, à un carrefour, est la suivante :

- Cédez sur la route secondaire 35,3 litres/jour
- STOP sur la route secondaire 55,1 litres/jour
- STOP multiples 182,1 litres/jour
- Feux de circulation 360,5 litres/jour

À 1,50\$/litre de carburant, un carrefour à feux entraîne des coûts annuels de 197 374\$.

Les feux de circulation sont des dispositifs de signalisation composés: d'un fût (support vertical); d'une potence (dans le cas de feux horizontaux); d'au moins une tête de feux horizontale ou verticale; de lanternes (contiennent boîtiers et lentilles); de lentilles vertes, jaunes et rouges (boules, carrés, losanges ou flèches) aussi appelées unités optiques (300 mm

de dimension chacune); d'un écran de visibilité (normalement jaune); et de visières (St-Jacques, 2017b) (Figure 3.1).

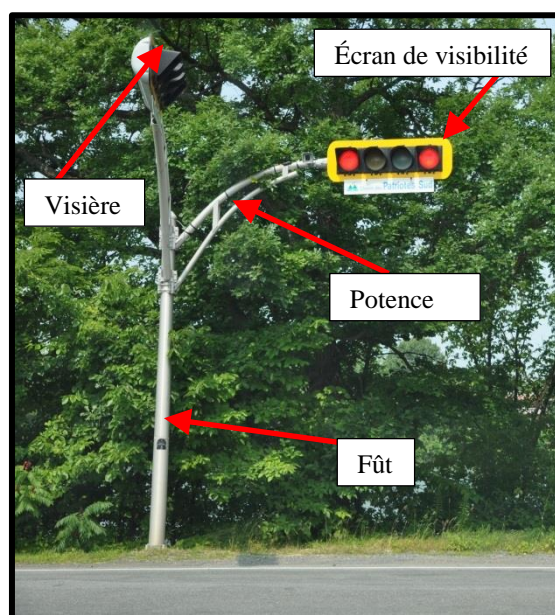


Figure 3.1 : Composantes des feux de circulation

Photographie : Luc Pellecuer

Les feux de circulation peuvent être équipés de d'autres équipements dont des boucles de détection; d'un régulateur de la circulation; de feux à décompte numérique (Figure 3.2); d'avertisseurs sonores pour les personnes aveugles ou malvoyantes; de feux prioritaires pour le transport en commun (appelés feux chandelles) (Figure 3.3); de boutons poussoirs pour activer les feux piétons (Figure 3.4); de feux prioritaires pour les cyclistes et les motos; de détecteurs OpticomTM pour les véhicules d'incendie; et de systèmes Autoscope (caméras de surveillance) (St-Jacques, 2017b).

Les feux de circulation sont généralement installés aux carrefours et utilisés pour gérer le droit de passage des différents mouvements conflictuels. En règle générale, l'installation de feux de circulation est justifiée lorsqu'il en résulte une amélioration de l'écoulement de la circulation et de la sécurité (St-Jacques, 2017b).



Figure 3.2 : Feux à décompte numérique (La Havane, Cuba)

Photographies : Michèle St-Jacques



Figure 3.3 : Feux prioritaires pour le transport en commun (Montréal, Québec)

Photographies : Michèle St-Jacques



Figure 3.4 : Bouton poussoir pour les piétons (Québec, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

Le premier feu de circulation a été installé à Londres en 1868. Il s'agissait d'une lanterne à gaz pivotante bicolore, d'où le nom « feu ». Le premier feu bicolore aux États-Unis a été installé en 1912 et le premier feu tricolore a été installé en 1920. Au Québec, les premiers feux de circulation tricolores ont été installés à Montréal, en 1930, aux carrefours Sherbrooke/Université et St-Antoine/Atwater. Dans tous ces cas, les feux de circulation avaient été installés afin de réduire les accidents impliquant des véhicules.

Les feux de circulation ont pour principaux avantages (Transports Québec, 2018b; St-Jacques, 2017b) :

- d'ordonner les mouvements de la circulation;
- de diminuer la fréquence des accidents à angle droit;
- de produire un mouvement continu ou quasi continu de la circulation à une vitesse préétablie;
- d'interrompre la circulation principale à intervalles déterminés pour permettre à la circulation transversale des véhicules et des piétons de traverser la voie principale.

Au niveau des inconvénients, les feux de circulation (Transports Québec, 2018b; St-Jacques, 2017b) :

- ralentissent la circulation;
- diminuent la capacité d'écoulement;
- dévient la circulation vers des routes locales favorisant ainsi le trafic de transit (trafic qui passe sur une route sans que celle-ci soit son origine ou sa destination);
- augmentent la fréquence des accidents de type collisions arrières;
- augmentent les délais (retards) et le nombre d'arrêts;
- augmentent la consommation de carburant et par conséquent la pollution;
- modifient le paysage;
- entraînent des coûts importants.

Lors de sa conception ou de son analyse, l'ingénieur ne doit jamais oublier qu'un feu de circulation peut être nécessaire seulement 5 heures/semaine, soit seulement durant l'heure de pointe des jours ouvrables. Annuellement, cela correspond à 260 heures de nécessité sur un total de 8 760 heures dans une année. Le feu de circulation est ainsi nécessaire 3% du temps

(260 h/8 760 h) et non nécessaire 97% du temps. Cette situation se retrouve très souvent et peut entraîner de la frustration chez les conducteurs (St-Jacques, 2017b).

Si des feux de circulation doivent être installés pour des raisons de capacité ou de sécurité, deux mesures peuvent être mises en place pour minimiser les inconvénients liés à leur installation.

La première mesure consiste à installer des boucles de détection sur l'artère secondaire. Le feu de circulation sera alors régi selon un mode de fonctionnement semi-adaptatif. C'est-à-dire que le feu de circulation sera laissé au vert en permanence sur la route principale. Les véhicules n'auront à s'immobiliser au feu rouge que s'il y a un véhicule sur l'artère secondaire.

La seconde mesure consiste à synchroniser une série de feux de circulation entre eux. La progression efficace de la circulation sur les artères repose sur un espacement optimal et uniforme des feux de circulation. La synchronisation dépend directement de la vitesse de circulation et de l'espacement des carrefours. L'expérience a démontré que, lorsque l'espacement entre les carrefours pourvus de feux de circulation excède 800 m, les avantages de la synchronisation des feux diminuent puisque l'effet de dispersion du peloton réduit la densité du courant de circulation (St-Jacques, 1987b; ATC, 1995; St-Jacques, 2017b).

Le principal logiciel de synchronisation des feux de circulation actuellement utilisé au Québec est le logiciel Synchro (Section 1.4). Par le passé, les Villes québécoises utilisaient les logiciels Passer II et Talon.

Le logiciel Passer II donne d'excellents résultats de synchronisation. Il a permis de synchroniser les feux de circulation des boulevards Saint-Jean et des Sources à la Ville de Pointe-Claire (Québec) (St-Jacques, 1987b; St-Jacques, 1989a); Wilfrid-Hamel et René-Lévesque à Québec (St-Jacques, 1987a; St-Jacques, 1991c; St-Jacques, 1995c; St-Jacques, 1995d). La synchronisation est en place depuis près de 30 ans et est encore très efficace (St-Jacques, 1987a; St-Jacques, 1987b; St-Jacques, 1989a; St-Jacques, 1991c; St-Jacques, 1995a; St-Jacques, 1995b). Le conducteur peut traverser une série de feux de circulation sans avoir à s'immobiliser. La faiblesse de ce logiciel par rapport au logiciel Synchro est sa difficulté d'utilisation et le fait qu'il faut faire au préalable des simulations avec un autre logiciel d'analyse des débits de circulation (anciennement HCM/Cinema) afin d'obtenir des temps de vert optimums à entrer dans le logiciel Passer. Le logiciel Synchro permet de tout faire sans avoir recours à un autre logiciel.

Pour un maximum d'efficacité lors de la synchronisation des feux de circulation, il est important de modifier tous les paramètres par défaut dans le logiciel utilisé et de synchroniser les feux de circulation selon la vitesse de roulement désirée. Celle-ci ne doit pas dépasser la vitesse affichée afin de respecter le Code de la route et d'éviter des mauvaises surprises aux conducteurs.

3.2 Signalisation horizontale (Marquage)

Le marquage, aussi appelé signalisation horizontale, consiste en des signaux appliqués sur la chaussée qui facilitent le guidage de l'automobiliste, améliorent le flux de la circulation et contribuent au confort et à la sécurité routière (Transports Québec, 2018e).

Le marquage sur la chaussée a pour objet de délimiter clairement les parties de la chaussée réservées aux différentes voies de circulation ou à certaines catégories d'utilisateur; d'indiquer les mouvements à exécuter; et de compléter les indications des panneaux de signalisation (Figure 3.5) (St-Jacques, 2017a).



Figure 3.5 : Mouvements permis par voie (Biarritz, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Plus précisément, les marques sur la chaussée servent à indiquer : les sens de circulation; les voies de circulation; les zones de dépassement interdit; les rives de chaussées et les bordures dangereuses; les variations de largeur de la chaussée; les zones de circulation des autobus; les abords d'intersection; les lignes d'arrêt des véhicules; les passages piétonniers; les zones et les places réservées au stationnement; les manœuvres particulières au moyen de flèches; les approches d'obstacles; les voies cyclables; les voies réservées; et les rampes de détresse aussi appelée voies de secours ou lits d'arrêt.

Les voies de secours sont des aménagements réalisés le long des pentes importantes dans le but d'arrêter, de façon sécuritaire, les véhicules lourds ou tout autre véhicule dont les freins deviennent inefficaces par échauffement excessif ou bris mécanique (Figure 3.6) (St-Jacques, 2017a).



Figure 3.6 : Voie de secours (Annecy, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Il existe différents produits pour réaliser le marquage des routes. Celui-ci doit être visible, durable et respectueux de l'environnement.

3.2.1 Produits de marquage

Le réseau routier sous la juridiction du ministère des Transports du Québec (MTQ) est de l'ordre de 72 000 kilomètres. Au niveau du marquage, cela représente, pour le MTQ, 3,5 millions de litres de produits de marquage par année (Tremblay, 2002).

Les produits de marquage des routes (courte, moyenne et longue durée) actuellement utilisés au Québec sont les suivants (Transports Québec, 2018f) :

- peinture à base d'eau;
- peinture alkyde;
- peinture alkyde à basse teneur en composés organiques volatils;
- enduits thermoplastiques;
- produits à plus d'un composant;
- bandes préfabriquées.

Depuis le 1^{er} janvier 2006, le ministère de l'Environnement du Québec limite les peintures à base d'alkyde à 150 g/l de COV (composé organique volatil) évaporé dans l'atmosphère. Le MTQ a donc décidé d'augmenter son utilisation des produits à base de résine époxydique et à base d'eau (Tremblay, 2002).

Pour augmenter la visibilité nocturne du marquage, des billes de verre sont utilisées (Boily et Tremblay, 2014). La rétroreflectivité du marquage avec billes de verre est influencée par les propriétés intrinsèques des billes (taille, indice de réfraction, clarté et arrondi) et par l'application de ces billes (quantité utilisée, dispersion et profondeur d'enrobage). Les propriétés physiques et chimiques des billes de verre doivent donc être contrôlées avec attention lors de la production (Texas Department of Transportation, 2004). La quantité de billes utilisée influence la visibilité du marquage. Plus il y a de billes, meilleure est la rétroreflectivité du marquage. Toutefois, le Texas Department of Transportation (2004) mentionne qu'au-delà d'un certain seuil (non défini), l'ajout de billes ferait décroître la rétroreflectivité du marquage.

Au niveau de la performance des produits de marquage, St-Jacques et al. (2008) ont réalisé une étude, pour le ministère des Transports du Québec, afin de dresser un portrait international sur les différentes méthodes de relevés et d'indicateurs de performance liés à la durabilité du marquage longitudinal. L'étude consistait à répertorier les différentes méthodologies d'évaluation et de suivi de la performance du marquage longitudinal à partir des informations disponibles dans les administrations routières et des études en cours dans les centres de recherches et le milieu académique à travers le monde.

La visibilité du marquage longitudinal doit être viable indépendamment de l'état de la chaussée, qu'elle soit sèche ou mouillée, et en tout temps, le jour comme la nuit. Ainsi, la performance du marquage routier doit être satisfaisante pour toutes les conditions rencontrées durant le cycle de vie du produit de marquage et, par conséquent, doit fournir une longévité adéquate. Or, les conditions météorologiques, la circulation et l'entretien hivernal ont un impact considérable sur la durabilité du marquage routier (Lu et Barter, 1998; Texas Department of Transportation, 2004).

Selon le Texas Department of Transportation (2004), la performance du marquage routier est influencée par plusieurs facteurs externes, soit :

- les conditions de surface (rugosité, sensibilité à la chaleur, porosité);
- la circulation (nombre de passages des différents véhicules);
- l'environnement (température, humidité, vitesse du vent, humidité de la surface lors de la pose du marquage).

Le type de chaussée (béton ou enrobés bitumineux) et l'entretien hivernal influencent aussi la performance du marquage routier (Scheuer, Maleck et Lighthizer, 1997; Lu et Barter, 1998; Migletz et al., 1999; Rich, Maki et Morena, 2002; Bahar et al., 2006; Liu, 2006).

Cottrell et Hanson (2001) et Lindly et Wijesundera (2003) recommandent l'utilisation d'une analyse sur le cycle de vie pour déterminer le marquage qui est le plus performant sur l'ensemble de la période d'analyse. Lindly et Wijesundera (2003) utilisent les coûts de pose; les coûts d'entretien; la période de performance; et la période d'étude comme données d'entrée.

Les préoccupations des administrations routières portent sur le développement de produits de marquage efficaces et efficaces et sur la mise en place de systèmes de gestion du marquage routier (St-Jacques et al., 2008).

Les solutions avancées pour maintenir la visibilité nocturne lorsque la chaussée est humide semblent être principalement orientées vers l'utilisation de microbilles de verre incrustées dans les produits de marquage à différentes profondeurs et la texturisation du matériau de marquage (St-Jacques et al., 2008).

Le déneigement est un facteur prépondérant au niveau de la performance du marquage routier. Une étude sur la performance du marquage routier dans les pays nordiques (Scandinavie, Danemark et Islande) a montré que la durabilité des thermoplastiques en Finlande serait supérieure aux produits à base d'eau. Les produits thermoplastiques en relief sont toutefois sensibles aux opérations de déneigement (Lundkvist, 2008).

L'état du marquage peut être vérifié par une évaluation subjective (c'est-à-dire par un employé) ou bien par une évaluation objective (c'est-à-dire par un appareil). L'évaluation objective est souvent assurée par le relevé de la rétroreflectivité du marquage (St-Jacques et al., 2008).

À travers le monde, la mesure de la visibilité nocturne, par l'intermédiaire de la mesure de la rétroreflectivité, tend à évoluer vers l'adoption des appareils caractérisés par une géométrie de 30 mètres (i.e. Ecodyn®, Microlux 30®), soit une visibilité du marquage à 30 mètres

correspondant à la vision perçue par le conducteur. Ce type d'appareil est préconisé par les normes européennes et est de plus en plus utilisé en Amérique du Nord et en Australie (St-Jacques et al., 2008).

L'appareil Ecodyn® mesure, en continu, les coefficients de luminance rétroréfléchie (la capacité à renvoyer vers le conducteur la lumière issue des feux de son véhicule) des marquages routiers ainsi que leurs contrastes, de jour et de nuit, par rapport à la chaussée. Pour mesurer le coefficient de luminance rétroréfléchie, l'appareil Ecodyn® émet une lumière blanche, modulée en fréquence, et capte le flux lumineux rétroréfléchi auquel se superpose le flux issu de l'éclairage ambiant. L'appareil est installé sur un véhicule type monospace spécialement aménagé. Sa position par rapport au marquage routier est contrôlée par le conducteur à l'aide d'un bargraphe situé sur le tableau de bord du véhicule (VECTRA, 2016) (Figure 3.7).



Figure 3.7 : Appareil Ecodyn®

Source : VECTRA, 2016

L'évaluation de la visibilité diurne n'est pas uniforme à travers le monde. En Europe, c'est le facteur de luminance en éclairage diffus et la chromaticité (Norme NF EN 1436) qui sont mesurés. En Amérique, c'est une évaluation visuelle subjective du taux de présence du marquage (Norme ASTM D713) qui est faite (St-Jacques et al., 2008).

Il est important de connaître la distance de visibilité du marquage pour que les automobilistes circulent dans des conditions de sécurité optimales. St-Jacques et al. (2008) recommandent d'établir un système de gestion du marquage routier québécois afin de suivre et de gérer l'évolution dans le temps de la visibilité du marquage. Les données à inclure dans ce système concernent :

- l'application du produit de marquage (date, type, épaisseur moyenne de pose, température ambiante);
- l'entretien hivernal (types d'abrasifs et de déglacants répandus, nombre de passages de la déneigeuse);
- les données climatiques (précipitations annuelles moyennes, températures moyennes mensuelles, nombre de jours d'ensoleillement);
- les données sur les débits de circulation;
- la nature du revêtement routier;
- les mesures de rétroréflexivité;
- l'état de la surface (ressuage, arrachement, orniérage, fissuration longitudinale) et la macrorugosité du revêtement).

L'analyse économique sur le cycle de vie des produits de marquage pourrait être faite afin d'élaborer une stratégie au niveau de la rentabilité des produits de moyenne et de longue durées. Cela pourrait justifier l'emploi de produits plus durables et assurer une meilleure visibilité du marquage routier au printemps. Au Québec, il est fréquent de constater que le marquage est majoritairement effacé après un hiver rigoureux (St-Jacques et al., 2008).

La modélisation de l'évolution de la visibilité du marquage en fonction de l'âge du marquage pourrait permettre l'utilisation et l'exploitation des relevés effectués à l'aide du véhicule multifonction du Ministère (utilisant un rétroréflexomètre mobile de type Ecodyn®) afin de prédire l'état du marquage et de rationaliser et optimiser les ressources du Ministère (St-Jacques et al., 2008).

Les particularités climatiques du Québec permettraient le développement d'un modèle de référence de dégradation de la visibilité dans des conditions nordiques, soit avec de nombreuses opérations d'épandage de sels, ou autres abrasifs, et d'enlèvement de la neige.

3.2.2 Marquage sonore

En plus du marquage traditionnel, des bandes rugueuses (ou rainurées) sont installées sur les accotements de certaines routes et autoroutes du Québec depuis l'été 2001 (Figure 3.8). Ces bandes de 100 mm de large par 9 mm de profondeur sont espacées de 450 mm centre à centre.



Figure 3.8 : Bandes rugueuses en bordure d'autoroute (Québec)

Photographies : Michèle St-Jacques et Hugo Roy

Le coût de ces bandes est de l'ordre de 2 000\$/km mais permettent de réduire de 20% les sorties de route (St-Jacques, 2017a). Ces bandes ont été installées en bordure de route pour la première fois, en Amérique du nord, en 1955 au New-Jersey.

3.3 Signalisation verticale

Selon Transports Québec (2018g), les objectifs de la signalisation routière sont de :

- rendre plus sûre la circulation routière;
- faciliter la circulation;
- identifier, ou rappeler, la réglementation édictée par l'autorité investie du pouvoir réglementaire;
- signaler les dangers;
- assurer la sécurité des travailleurs et des usagers de la route durant l'exécution des travaux effectués sur un chemin ou aux abords de celui-ci;
- donner des indications ou des renseignements utiles aux usagers de la route.

En plus d'attirer l'attention, la signalisation doit être (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g) :

- uniforme et homogène;
- parfaitement visible et lisible à distance;
- facile à comprendre;
- bien adaptée aux dangers et aux particularités à signaler.

Les Normes des Ouvrages routiers (Transports Québec, 2018g) répartissent les panneaux de signalisation routière en cinq catégories, soit les panneaux de signalisation:

- de prescription (obligation ou interdiction);
- d'information (configurations particulières, aires réservées);
- de danger (obstacle ou point dangereux);
- de travaux (ouvrages de construction ou d'entretien);
- d'indication (destination, distance, direction, nom de rue, points d'intérêts, services).

Selon le ministère des Transports du Québec (Transports Québec, 2018g), il faut faire un usage judicieux des panneaux de signalisation. Un emploi excessif de signaux de prescription et de danger peut contribuer à en diminuer le respect. À l'inverse, une utilisation fréquente de signaux d'indication peut être utile pour l'utilisateur de la route.

Une attention particulière doit être portée aux endroits où le conducteur risque d'être distrait par le paysage et aux endroits où le champ visuel peut être obstrué (Transports Québec, 2018g).

La facilité de lecture à distance dépend surtout de la hauteur des caractères. En Amérique du nord, les lettres et les chiffres qui apparaissent sur les panneaux de signalisation doivent être conformes au « Standard Alphabets for Highway Signs and Pavement Markings » du U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Les lettres de la série «A» possèdent des traits très minces et élancés. Elles ne sont pas facilement lisibles à une grande distance. À l'opposé, les lettres de série «E» sont très larges et épaisses. Au Québec, les lettres de série B sont utilisées sur les plaques de noms de rue, panneaux réglementant le stationnement et les arrêts. Les lettres des séries C, D, E et E modifiée peuvent être utilisées pour tous les panneaux. À une distance de 20 m, il est possible de lire une inscription en lettres de série C de

4 cm de hauteur. À 100 m, les lettres doivent avoir au moins 20 cm de hauteur (St-Jacques, 2017b).

3.4 Supersignalisation (signalisation d'indication)

Un des objectifs des routes consiste à mener un usager de la route vers une destination. La signalisation d'indication doit donc guider, diriger et orienter l'utilisateur de la route vers la destination recherchée. Elle doit aussi le mener vers les différents équipements touristiques et spécifiques situés à l'intérieur ou à proximité de sa destination, tout en l'informant des services offerts le long de son itinéraire (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).

Les Normes du ministère des Transports du Québec distinguent 6 types de signalisation d'indication, soit la signalisation de destination; la signalisation de repérage; la signalisation d'équipements spécifiques; la signalisation d'information; la signalisation d'équipements touristiques; et la signalisation des services d'essence et de restauration sur autoroutes (Transports Québec, 2018g).

3.4.1 Signalisation de destination

Les panneaux de destination servent à guider le conducteur en lui donnant des indications de direction vers des municipalités, rues, routes; en l'informant aux échangeurs ou aux autres intersections; en lui fournissant une présignalisation des indications précédentes; en le dirigeant vers les voies appropriées à l'approche de points de divergence; en identifiant les diverses routes et destinations; et en indiquant les distances à parcourir pour atteindre les principales destinations (Transports Québec, 2018g).

Les messages qui apparaissent sur les panneaux de destination doivent aider l'utilisateur de la route à atteindre sa destination par le meilleur itinéraire. Lors de la conception de tels panneaux, l'ingénieur doit se rappeler que cette information doit s'adresser principalement aux conducteurs qui ne sont pas familiers avec la route ou la région (St-Jacques, 2017b).

3.4.2 Signalisation de repérage

Les panneaux de signalisation de repérage servent à guider et orienter l'utilisateur de la route sur le réseau routier. Parmi les panneaux de signalisation de repérage, il y a les panneaux:

d'identification de route numérotée; d'identification d'autoroute; d'autres identifications (itinéraire transcanadien, route des pionniers, nom de l'autoroute); de nom de rue; de limite territoriale (limite provinciale, entrée de région touristique, entrée d'agglomération); de nom de pont; de points cardinaux; de fin (d'une route numérotée ou d'une autoroute). Il y a aussi les panonceaux de direction et de jonction; les bornes kilométriques; les repères géographiques: ressources hydriques (lac, rivière, fleuve, réservoir), montagnes et monts (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).

3.4.3 Signalisation d'équipements spécifiques

La signalisation d'équipements spécifiques sert à acheminer l'utilisateur de la route vers des équipements d'urgence, intermodaux ou municipaux (Transports Québec, 2018g).

Les équipements d'urgence sont les postes de police, les hôpitaux, les CLSC, les téléphones de secours et les aires de stationnement d'urgence. Les équipements intermodaux sont les autres modes de transport, soit les aéroports, les gares ferroviaires, les traverses maritimes, les stationnements incitatifs et les aires d'attente.

Les équipements municipaux sont tous les équipements qui se retrouvent à l'intérieur d'une municipalité ou qui desservent une clientèle locale. Il s'agit des aires de stationnement; des lieux d'enfouissement sanitaire; des arénas, des bibliothèques, des églises, des piscines et des parcs (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).

3.4.4 Signalisation d'information

Les panneaux de signalisation d'information au Québec sont les panneaux qui donnent une information supplémentaire aux conducteurs. Parmi ces panneaux, il y a les panneaux : de surveillance aérienne; de cul-de-sac (route sans issue); de demi-tour; de priorité de virage au clignotement du feu vert; de signalisation métrique qui annonce à l'utilisateur de la route, provenant d'un autre pays dont les États-Unis, que la signalisation routière au Québec est faite selon le système métrique (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).

3.4.5 Signalisation d'équipements touristiques

Il existe deux types de panneaux de signalisation d'équipements touristiques au Québec. Ils se distinguent par leur couleur : brun ou bleu. Les panneaux de couleur brune font référence aux équipements touristiques publics. Les panneaux de couleur bleue font référence aux équipements touristiques privés (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).

La signalisation d'équipements touristiques publics indique la présence de parcs routiers (haltes routières, aires de repos pour camionneurs, aires de service, vues panoramiques, etc.); de bureaux d'information touristique; d'attrait touristiques (sites historiques, zoo, aquarium, etc.); de parcs et réserves fauniques publics; de haltes municipales et de ponts couverts (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).

La signalisation d'équipements touristiques privés indique la présence d'attrait, d'activités et de services d'hébergement exploités par une entreprise privée, soit les golfs, musées, campings, stations de ski, glissades d'eau, etc. (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).

3.4.6 Signalisation de services d'essence et de restauration sur autoroutes

La signalisation des services d'essence et de restauration indique, à l'utilisateur de la route circulant sur une autoroute, la proximité (soit la distance approximative) des postes d'essence et des établissements de restauration (Figure 3.9) (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).



Figure 3.9 : Signalisation de services d'essence et de restauration (Ontario, Canada)

Photographie : Michèle St-Jacques

3.4.7 Supersignalisation en milieu urbain

En milieu urbain, la signalisation doit tenir compte de la faible distance entre les échangeurs, des abords de route restreints et des débits de circulation élevés. Ces conditions justifient, sur une autoroute urbaine, l'utilisation de panneaux indiquant une suite d'échangeurs; la rationalisation de la signalisation touristique et de service; la rationalisation de la signalisation installée au-delà des échangeurs; l'utilisation de panneaux de présignalisation à proximité des échangeurs précédents; l'utilisation fréquente de portiques de signalisation; et l'utilisation de panneaux d'indication schématique à certains échangeurs complexes (Figure 3.10) (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).



Figure 3.10 : Panneau d'indication schématique (Montréal, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

3.4.8 Entretien de la supersignalisation

Les inscriptions, pictogrammes, sigles, silhouettes et symboles qui figurent sur les panneaux de signalisation doivent être visibles en tout temps. Les panneaux endommagés doivent être réparés ou remplacés et, au Québec, les panneaux dont la réflectivité n'est pas au moins égale à 50% de la norme BNQ 6830-101 doivent être remplacés (Transports Québec, 2018g).

L'entretien de la signalisation consiste à enlever tout ce qui peut nuire à la visibilité du panneau, soit végétation, neige, éclaboussures, objets laissés en bordure de la route (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018g).

3.4.9 Panneaux à messages variables

Depuis quelques années, les panneaux à messages variables ont fait leur apparition. Ils aident à réduire la congestion routière et à améliorer la sécurité routière (Psaraki et al., 2012) en indiquant notamment:

- les conditions de circulation sur le réseau routier;
- les temps de parcours entre des points précis;
- les accidents ou entraves sur le réseau routier;
- les fermetures de voies de circulation;
- des conseils divers de sécurité.

La Figure 3.11 montre deux exemples de panneaux à messages variables.



Figure 3.11 : Panneaux à messages variables (France et Québec)

Photographies : Michèle St-Jacques

Parallèlement à ces panneaux à messages variables, des postes de radio donnent des informations routières en continu et des sites internet indiquent l'état du réseau routier en continu, à partir de caméras de surveillance, au niveau de l'achalandage et parfois des travaux en cours (Figures 3.12 et 3.13).



Figure 3.12 : État de la circulation sur le réseau autoroutier français

Source : <http://www.vinci-autoroutes.com/service-info-traffic-temps-reel-@/108/view-42-service.html>



Figure 3.13 : État de la circulation sur le réseau autoroutier montréalais (Québec)

Source : <http://www.quebec511.gouv.qc.ca/fr/index.asp>

3.5 Plaques odonymiques

Bien que faisant partie de la signalisation d'indication, les plaques odonymiques, communément appelées plaques de nom de rue, font l'objet d'une section distincte dans ce chapitre compte tenu de leur importance.

Les plaques odonymiques doivent informer les conducteurs et être faciles à lire. Lorsque les plaques odonymiques sont bien conçues, elles peuvent augmenter la sécurité des usagers de la route en réduisant les manœuvres brusques et inattendues causées par des conducteurs à la recherche d'une rue précise. Elles peuvent aussi permettre une meilleure intervention des services d'urgence.

3.5.1 Historique des plaques de nom de rue à Montréal

Le début de l'histoire de la toponymie montréalaise remonte à 1672. Les premières plaques officielles ont toutefois été mises en place le 4 avril 1818.

En 1851, les plaques de nom de rue étaient bilingues, soit en français et en anglais, à Montréal (Ville de Montréal, 1995; St-Jacques et Lemaire, 2004).

3.5.2 Visibilité des plaques de nom de rue

La population vieillissant, il y a de plus en plus de gens avec un problème de vision qui se retrouvent au volant sur les routes du Québec. En 2004, 71% des 50 ans et plus souffraient de troubles visuels (Lemaire, 2004). Ces usagers de la route requièrent un temps de perception et de réaction plus grand.

La plaque de nom de rue est parfois peu visible. En milieu urbain, les plaques odonymiques peuvent être camouflées derrière les panneaux publicitaires, les enseignes commerciales, les abribus, les panneaux STOP, un arbre ou autre élément. Elles peuvent aussi ne pas être cachées mais être difficiles à trouver (Figure 3.14).

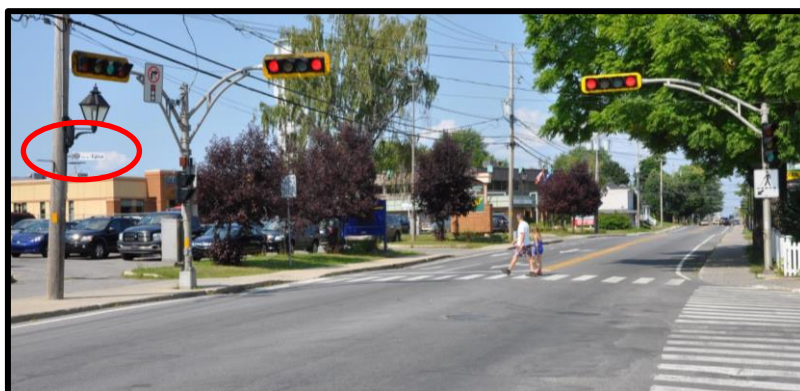


Figure 3.14 : Plaque de nom de rue non visible

Photographie : Luc Pellecier

Or, la visibilité des panneaux de signalisation routière joue un rôle important pour la sécurité des automobilistes et des piétons. Pendant que le conducteur recherche la plaque odonymique, il ne concentre pas toute son attention sur la route et augmente son risque d'accident (Houde, 2005).

3.5.3 Lisibilité des plaques de nom de rue

La lisibilité concerne le lettrage utilisé sur la plaque de nom de rue. La vitesse de roulement a un impact sur les dimensions du lettrage utilisé (Section 3.3.). Si un panneau de signalisation est facilement détectable, il permettra à l'automobiliste d'avoir plus de temps pour lire l'information se trouvant sur la plaque. Donc, l'automobiliste aura plus de temps pour prévoir sa prochaine manœuvre advenant le besoin d'entreprendre un virage, un dépassement ou un changement de voie (Houde, 2005).

Dans le but d'augmenter la visibilité d'un panneau de signalisation, il faut jouer avec l'effet de contraste. Il y a deux types de contraste pour les plaques de nom de rue. Le premier type de contraste est celui avec l'environnement. Il concerne le choix de la couleur du fond du panneau et l'utilisation ou non de bordure. Le second type de contraste est le contraste entre le lettrage et la couleur de fond de la plaque odonymique. Plus le contraste est important, plus la plaque est facile à détecter. Par contre, si le contraste est trop important entre le lettrage et la couleur de fond, le lettrage disparaît dans l'éblouissement causé par les phares des véhicules en conduite nocturne (Houde, 2005).

La commission sur la toponymie et l'office québécois de la langue française recommandent l'utilisation de la combinaison de lettres majuscules et minuscules sur les plaques odonymiques (Houde, 2005) (Figure 3.15). Le but est de faciliter la lecture et la lisibilité de l'information qui se trouve sur les plaques de noms de rue.



Figure 3.15 : Utilisation de lettres majuscules et minuscules sur une plaque odonymique

Photographie : Luc Pellecier

Une étude réalisée par Houde (2005) a démontré que les personnes plus âgées lisent les panneaux de moins loin que les répondants plus jeunes.

3.5.4 Couleur des plaques de nom de rue

La couleur du panneau peut jouer un rôle important dans la visibilité de ce dernier. Le fait d'utiliser deux couleurs qui ont un bon rapport de contraste entre elles, soit une pour le lettrage et une pour la couleur du fond, peut faire toute la différence lorsqu'un conducteur circule sur la route et est à la recherche d'une rue en particulier. Des lettres noires sur un fond blanc offrent un bon contraste le jour, mais c'est tout le contraire pour la conduite de nuit (Houde, 2005).

Le fait d'utiliser une couleur de fond plutôt foncée peut faire ressortir la plaque odonymique de l'environnement qui l'entoure durant la journée. La nuit, le fond de couleur foncé vient augmenter la réflectivité du lettrage ce qui le rend plus facile à lire, et ce, sur une plus grande distance. L'usage de bordures sur un panneau donne un meilleur contraste avec son environnement, mais cette bordure a pour effet de diminuer l'espace disponible pour le lettrage (Houde, 2005).

Des essais réalisés à la ville de Laval (Québec) ont démontré que l'utilisation de lettrage de couleur autre que le blanc a pour effet de disparaître dans la lumière des phares des automobiles la nuit tombée (St-Jacques et Lemaire, 2004). C'est le lettrage de couleur blanche qui possède la meilleure réflectivité.

Houde (2005) a créé un banc d'essai afin de vérifier quel type de plaque de nom de rue est le plus efficace et le plus facile à repérer. Cette étude a démontré que les panneaux de nom de rue qui ont une couleur de fond autre blanc sont visibles de plus loin la nuit. La couleur de fond qui a offert la meilleure performance est le bleu royal.

3.5.5 Localisation des plaques de noms de rue

L'emplacement des plaques odonymiques est important pour le conducteur qui est à la recherche d'une rue lorsqu'il est en mouvement. Le fait que les panneaux ne soient pas toujours placés au même endroit peut augmenter les risques d'accidents. Lorsqu'un conducteur cherche une plaque odonymique, son attention est portée ailleurs que sur la route (Houde, 2005).

À certaines intersections, les plaques de nom de rue sont situées du côté droit de la route (Figure 3.16). À d'autres carrefours, elles sont situées du côté gauche de l'intersection (Figure 3.17). Parfois, elles sont en amont de l'intersection et d'autres fois, elles sont en aval de l'intersection. Cette situation se retrouve à l'intérieur d'une même municipalité (St-Jacques, Pellecuer et Turcot, 2015).

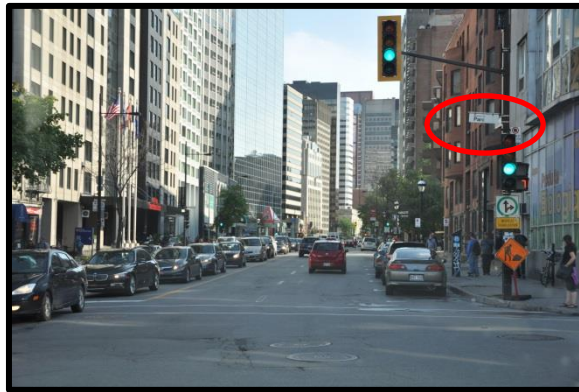


Figure 3.16 : Plaque odonymique située du côté droit (Montréal, Québec)

Photographie : Luc Pellecuer



Figure 3.17 : Plaque odonymique située du côté gauche (Montréal, Québec)

Photographie : Luc Pellecuer

De plus, il arrive que les plaques de nom de rue soient fixées sur les murs d'un bâtiment adjacent à la rue ou encore sur un mât en bordure du trottoir. Sur des boulevards, il arrive que les panneaux soient situés sur le terre-plein central (Figure 3.18) ou sous les têtes de feux de circulation. Il arrive même qu'à certains croisements, la plaque odonymique soit tout simplement inexistante.



Figure 3.18 : Plaque odonymique située au centre de la chaussée (Montréal, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

3.5.6 Uniformité des plaques odonymiques dans une ville

Une plaque de nom de rue peut être spécifique à une ville ou à un quartier de la ville (Figure 3.19). La forme et la couleur peuvent changer. Les logos (armoiries) peuvent être présents. Les plaques peuvent avoir une bordure.



Figure 3.19 : Plaques de noms de rue à Montréal et Outremont (Québec)

Photographies : Michèle St-Jacques

La forme de la plaque n'est pas un aspect primordial pour la détection de nuit d'une plaque odonymique. Par contre, la continuité de la forme permet de repérer plus facilement les plaques dans le paysage urbain (St-Jacques et Lemaire, 2004).

3.5.7 Complément d'information sur les plaques de nom de rue

Au Québec, lorsque le nom d'une rue change, l'ancien nom de rue et le nouveau nom de rue se côtoient pendant un certain temps (Figure 3.20), puis l'ancien nom est retiré.



Figure 3.20 : Changement de noms de rue (Montréal, Québec)

Photographies : Michèle St-Jacques

Il serait intéressant d'afficher à proximité de la nouvelle signalisation, pour des raisons historiques, le nom anciennement utilisé pour nommer cette rue. À cet effet, une plaque pourrait être fixée sur le mur d'un bâtiment adjacent (Figure 3.21).



Figure 3.21 : Information sur le changement de noms de rue (Genève, Suisse)

Photographie : Michèle St-Jacques

Une plaque de nom de rue peut être informative. Outre le nom de la rue, des informations peuvent être ajoutées sur la plaque. Il peut s'agir des orientations, des numéros civiques de la rue ou d'informations historiques concernant la provenance du nom inscrit sur la plaque

odonymique (Figure 3.22). L'ajout d'informations expliquant le nom de la rue est un plus du point de vue touristique.



Figure 3.22 : Plaques de nom de rue informatives

Photographies : Michèle St-Jacques

Une plaque de nom de rue peut également être bilingue dans les villes où il y a plus d'une langue officielle (Figure 3.23).



Figure 3.23 : Plaques de nom de rue bilingues

Photographies : Michèle St-Jacques

3.5.8 Recommandations

Les plaques odonymiques doivent permettre à tous les usagers de la route, peu importe leur acuité visuelle, de circuler en toute sécurité. Les usagers doivent être capables de lire l'information sur les panneaux de noms de rue et avoir assez de temps pour entreprendre toutes manœuvres de conduite. Les plaques odonymiques devraient avoir une couleur de fond foncée afin de respecter les critères de contraste pour la conduite de jour comme de nuit et pour faire un bon contraste avec le milieu environnant. Les plaques devraient être très facilement repérables. L'emplacement des plaques odonymiques devrait être uniforme dans une même ville. Ainsi, les usagers de la route n'auraient pas besoin de faire un balayage visuel afin de repérer la plaque de nom de rue.

Selon St-Jacques et Lemaire (2004), pour qu'une plaque de nom de rue soit performante, elle doit :

- être détectable facilement de jour comme de nuit;
- informer les conducteurs et être faciles à lire;
- répondre aux besoins des automobilistes de toutes catégories d'âge et de disposition visuelles;
- tenir compte du vieillissement de la population;
- personnaliser l'image d'une ville ou d'un quartier.

Au niveau de l'emplacement, St-Jacques et Lemaire (2004) recommandent que les plaques de nom de rue soient:

- facilement repérables;
- localisées adéquatement afin d'être visibles par les usagers de la route (utilisation d'un panneau de renforcement au besoin);
- lisibles à une distance permettant d'effectuer des manœuvres de changement de voies sécuritaires (fonds de plaques foncés à privilégier);

- informatives (Figure 3.24).



Figure 3.24 : Plaques de nom de rue informatives

Photographies : Michèle St-Jacques

Dans leur étude réalisée pour la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) et le Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU), St-Jacques, Pellecuer et Turcot (2014) recommandent que les plaques de nom de rue soient uniformisées sur l'ensemble du réseau artériel métropolitain aux niveaux de :

- l'emplacement : toujours le même à tous les carrefours traversés d'une même municipalité afin que le conducteur n'ait pas à les chercher;
- la couleur : une plaque au fond foncé est beaucoup plus facile à lire qu'une plaque sur fond blanc;
- la police utilisée : type et grosseur du lettrage, utilisation de majuscules ou majuscules/minuscules).

L'uniformisation des plaques de nom de rue dans les 82 municipalités de la région de Montréal faciliterait la lecture des plaques de nom de rue et assurerait une plus grande sécurité aux conducteurs en transit ou de passage sur le réseau artériel métropolitain (St-Jacques, Pellecuer et Turcot, 2014).

Lors de l'étude de St-Jacques, Pellecuer et Turcot (2014), 89% des municipalités et arrondissements de la région montréalaise ont spécifié que d'assurer la fluidité sur leur réseau artériel est une priorité. Or, pour qu'il y ait fluidité, il faut que la signalisation soit efficace.

Lorsque les plaques de nom de rue sont difficiles à lire et/ou à trouver aux carrefours, cela peut nuire à la fluidité et même entraîner des problèmes au niveau de la sécurité routière.

Parmi les 82 municipalités observées, ce sont les plaques de nom de rue des villes de Laval (Figure 3.25) et Saint-Eustache (Figure 3.26) qui ont été les plus faciles à déchiffrer. Ces plaques, de couleur bleue au lettrage blanc, sont facilement repérables, très visibles, très lisibles et toujours situées au même endroit aux différents carrefours. Le conducteur n'a pas à modifier sa vitesse de conduite pour lire et/ou trouver les plaques de noms de rues dans ces villes.



Figure 3.25 : Plaque de nom de rue à Laval, Québec

Photographie : Luc Pellecier

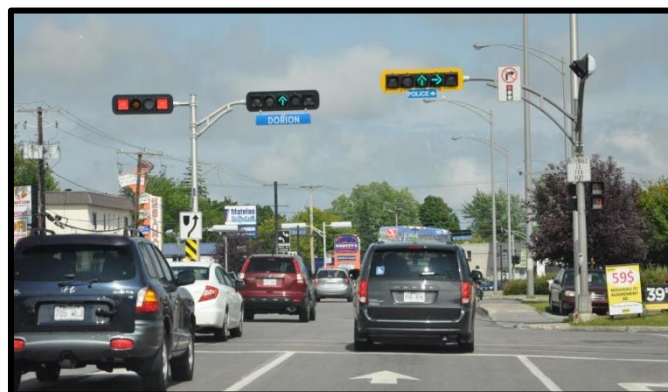


Figure 3.26 : Plaque de nom de rue à Saint-Eustache, Québec

Photographie : Luc Pellecier

3.6 Signalisation de travaux

Si la signalisation joue un rôle très important au niveau de la sécurité routière, la signalisation de travaux a un double rôle. Elle doit guider les usagers de la route, comme tout autre type de signalisation, mais elle doit aussi protéger les travailleurs de la construction.

Les travaux routiers sont très fréquents sur l'ensemble du réseau routier québécois, et plus particulièrement dans la région de Montréal, depuis quelques années. Les travaux se font autant sur les axes autoroutiers qu'en milieu urbain (Figure 3.27). L'ingénieur responsable du maintien de la circulation doit donc apporter une attention particulière aux différentes zones de travaux.



Figure 3.27 : Travaux routiers dans la région de Montréal

Photographies : Michèle St-Jacques

Les zones de travaux sont tellement nombreuses qu'elles font le bonheur des caricaturistes (Figure 3.28).

En 2001, avec l'adoption d'un *Plan d'action en matière de sécurité sur les sites de travaux routiers*, le ministère des Transports du Québec désirait améliorer ses différentes techniques et équipements de signalisation (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007).

Une des actions du ministère des Transports du Québec a été la conception des balises T-RV-7, T-RV-8 et T-RV-9 (Figure 3.29) afin d'offrir une meilleure visibilité dans les zones de travaux et de mieux guider les différents usagers de la route (Nazair, 2006).



Source : Magazine Ile des Sœurs

Source : Serge Chapleau, La Presse

Figure 3.28 : Caricatures sur les travaux routiers à Montréal

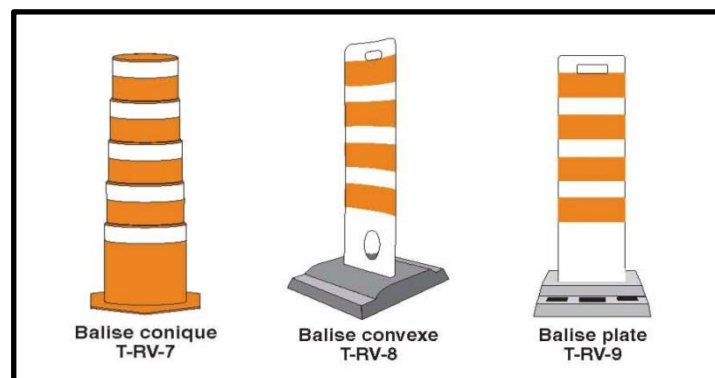


Figure 3.29 : Balises T-RV-7, T-RV-8 et T-RV-9

Source : St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007

3.6.1 Configuration actuelle des balises T-RV-7

Il est à noter que, des trois balises mentionnées précédemment, seule la balise T-RV-7 est encore utilisée en 2019. Les deux autres types de balise ont été abandonnés au cours des dernières années. L'acronyme T-RV-# fait référence à Travaux – Repère Visuel – Numéro de modèle.

Les balises T-RV-7 du Québec sont actuellement composées de 9 bandes rétro réfléchissantes (norme ASTM 4956-05), soit 5 bandes blanches et 4 bandes orange (Figure 3.30) (Groleau et al., 2008).

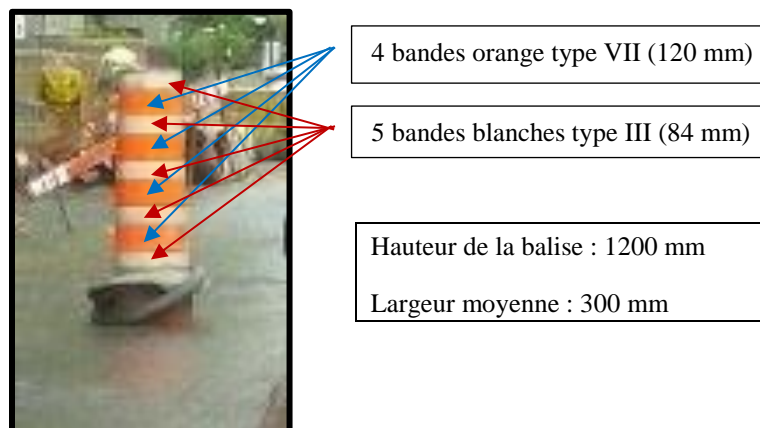


Figure 3.30 : Configuration actuelle de la balise T-RV-7

Photographie : Michèle St-Jacques

En 2006, des employés du ministère des Transports du Québec (MTQ) ont constaté un phénomène d'éblouissement ou de halo avec les pellicules utilisées sur les balises T-RV-7, 8 et 9. Ce phénomène pouvait créer de l'inconfort et entraîner une baisse de la sécurité aux abords et à l'intérieur des chantiers routiers (Nazair, 2006).

Un projet de recherche a donc été réalisé par St-Jacques, Assaf et Groleau (2007) afin de valider la configuration actuelle des bandes rétro réfléchissantes utilisées au Québec. Pour ce faire, il a fallu :

- relever les façons de faire ailleurs dans le monde;
- proposer des configurations à tester;
- recommander une configuration optimale de balise.

3.6.2 Comparaison avec des balises étrangères

La première étape de l'étude de St-Jacques, Assaf et Groleau (2007) a consisté à relever les différents types de balises utilisés par les autres administrations routières à travers le monde.

Ainsi, les balises de certaines autres provinces canadiennes (Ontario, Manitoba, Colombie-Britannique, Saskatchewan, Nouveau-Brunswick, Terre-Neuve et Labrador), des États-Unis (la signalisation américaine est uniformisée et régie par la Federal Highway Administration qui dépend du U.S. Department of Transportation), de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande, de la Belgique, de la France et de l'Italie ont été analysées.

Cette analyse a permis de constater que les couleurs orange ou rouge sont utilisées internationalement pour la signalisation de travaux (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007).

En comparant les différentes balises étrangères et les balises T-RV-7, 8 et 9 du Québec, il est possible de constater que les balises du Québec (St-Jacques et Groleau, 2013) :

- sont parmi les plus hautes du monde avec une hauteur de 1,2 m (la hauteur des balises varie habituellement entre 800 et 1 000 mm, soit sous la hauteur moyenne de l'œil d'un conducteur estimée à 1 050 mm);
- sont les seules avec une bande blanche rétro réfléchissante au sommet;
- ont environ 2 fois plus de pellicules que la moyenne mondiale (surface apparente rétro réfléchissante en m²);
- rétro réfléchissent approximativement 2,8 fois plus de lumière que la moyenne mondiale.

Cette première partie de l'étude terminée, différentes configurations de balises ont été testées en laboratoire.

3.6.3 Comparaison de différentes configurations en laboratoire

L'équipe de recherche, composée d'une vingtaine de membres du ministère des Transports du Québec (MTQ) et de l'École de technologie supérieure (ÉTS), a retenu, à partir des balises étrangères, quatre configurations qui pourraient être appliquées au Québec. Il s'agit des configurations du Manitoba, de la Colombie-Britannique, des États-Unis et de la Nouvelle-Zélande. À ces configurations, s'ajoutent la balise T-RV-7 actuelle (statu quo) et trois nouvelles balises développées à l'ÉTS (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007; Groleau, 2008; St-Jacques et Groleau, 2013), soit :

- une balise orange et noire basée sur la configuration de la balise ontarienne mais d'une hauteur de 1,2 m de hauteur;

- une balise orange et bleue comportant 4 bandes orange de 100 mm de largeur espacées de 100 mm (la couleur bleue est la couleur chromatiquement opposée à la couleur orange);
- une balise orange et bleue comportant 3 bandes orange de 150 mm de largeur espacées de 225 mm.

Les essais ont été réalisés dans le stationnement intérieur de l'École de technologie supérieure (ÉTS) dans une obscurité totale. Chaque configuration testée était entourée de deux balises T-RV-7 (statu quo) de part et d'autre (Figure 3.31). En fait, c'est un T-RV-7 et trois T-RV-8 qui entouraient les différentes configurations testées. Le T-RV-8 a été utilisé car il possède la même configuration que le T-RV-7 mais il est plus facile à manipuler qu'un T-RV-7.

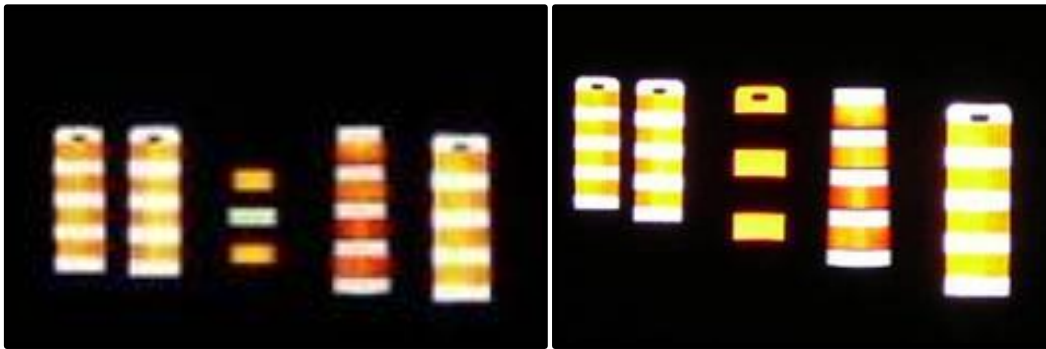


Figure 3.31 : Deux configurations testées en laboratoire

Photographies : Michèle St-Jacques

L'évaluation a été faite au niveau de la Visibilité (associée à la facilité de vision de la balise) et de la Lisibilité (associée à la reconnaissance du message). Un système numérique sur trois points a été utilisé pour la notation. Deux points ont été accordés lorsque la configuration testée était jugée équivalente au statu quo (T-RV-7). Trois points ont été donnés lorsque la configuration testée était jugée supérieure au statu quo. Et un seul point a été octroyé lorsque la configuration testée était jugée inférieure au statu quo.

Onze personnes ont participé à l'évaluation. Tous les évaluateurs étaient assis à l'intérieur d'un véhicule et sont passés deux fois devant les différentes configurations testées.

Les trois configurations qui ont obtenu les meilleurs résultats sont les trois nouveaux prototypes développés par l'ÉTS, soit, par ordre d'appréciation (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007; St-Jacques et Groleau, 2013) (Figure 3.32) :

- la balise orange et bleue avec 3 bandes orange;
- la balise noire et orange de 1,2 m basée sur la balise de l'Ontario;
- la balise orange et bleue avec 4 bandes orange.



Figure 3.32 : Meilleures configurations testées en laboratoire

Photographies : Michèle St-Jacques

Bien que les configurations avec des bandes orange et bleu aient obtenu d'excellents résultats aux niveaux de la lisibilité et de la visibilité, elles ont été abandonnées, à la demande du Comité de suivi du ministère des Transports du Québec, parce que le bleu n'est pas une couleur traditionnellement utilisée par les administrations routières pour la signalisation de travaux (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007). De nouvelles configurations devaient donc être élaborées afin de passer à l'étape d'évaluation sur le terrain.

3.6.4 Comparaison de différentes configurations sur le terrain – Phase 1

À partir des évaluations faites en laboratoire, cinq configurations ont été retenues pour l'évaluation sur le terrain. Les balises de la Nouvelle-Zélande et du Manitoba n'ont pas été retenues pour l'évaluation sur le terrain car elles ont obtenu des résultats moins bons que la balise T-RV-7 du Québec aux niveaux de la lisibilité et de la visibilité lors de l'évaluation en laboratoire (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007).

Les cinq nouvelles configurations, outre la configuration de la balise T-RV-7 (statu quo), sont :

- une balise orange et noire comportant 3 bandes orange de 150 mm de largeur espacées de 200 mm (Figure 3.33);
- une balise orange et noire de 1,2 m de hauteur, basée sur la balise ontarienne, avec des bandes orange de 120 mm espacées de 80 mm;
- une balise orange et noire de 1,0 m de hauteur, basée sur la balise ontarienne, avec des bandes orange de 120 mm espacées de 80 mm;
- une balise orange et blanche de 1,2 m de hauteur, basée sur la balise de la Colombie-Britannique, avec des bandes orange de 150 mm espacées de 80 mm (Figure 3.33);
- une balise orange et blanche de 1,0 m de hauteur, basée sur la balise de la Colombie-Britannique, avec des bandes orange de 150 mm espacées de 80 mm.



Figure 3.33 : Deux configurations testées sur le terrain lors de la Phase 1

Photographies : Michèle St-Jacques

L'évaluation sur le terrain a été réalisée de nuit sur la rue Pullman, rue privée non éclairée appartenant au ministère des Transports (Figure 3.34), selon les mêmes critères d'évaluation et le même système numérique que l'évaluation en laboratoire.

Treize personnes ont participé à la première évaluation sur le terrain. Tous les évaluateurs étaient assis dans un véhicule et devaient passer deux fois devant les différentes configurations. La première évaluation (premier passage) a été faite à une vitesse de 50 km/h. La seconde évaluation (deuxième passage devant la configuration) a été faite à une vitesse de 70 km/h.

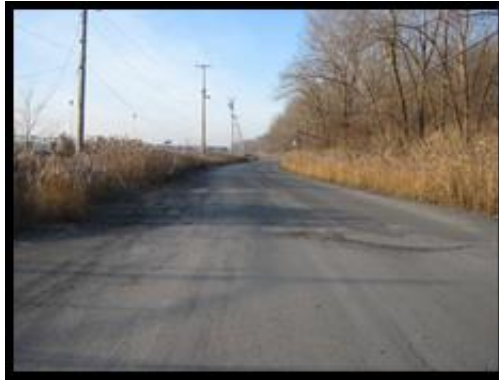


Figure 3.34 : Rue Pullman
Photographie : Jonathan Groleau

Les configurations à évaluer ont été placées en mini biseau de 5 balises identiques. Trois séries d'observations ont été faites en modifiant l'espacement entre les 5 balises, soit un espacement de 2 mètres, un espacement de 5 mètres et un espacement de 20 mètres (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007; St-Jacques et Groleau, 2013) (Figure 3.33).

Les meilleurs résultats aux niveaux de la lisibilité et de la visibilité ont été obtenus avec la balise orange et noire comportant 3 bandes orange de 150 mm de largeur espacées de 200 mm et la balise orange et noire de 1,2 m de hauteur, basée sur la balise ontarienne, avec des bandes orange de 120 mm espacées de 80 mm. Les balises d'une hauteur de 1,2 m ont été préférées aux balises de 1,0 m de hauteur (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007; St-Jacques et Groleau, 2013).

Tout comme pour les configurations avec des bandes orange et bleu, et bien que les configurations avec des bandes orange et noir aient obtenu d'excellents résultats aux niveaux de la lisibilité et de la visibilité, elles ont été abandonnées, à la demande du Comité de suivi du ministère des Transports du Québec, parce que l'utilisation de la couleur noire n'entre pas dans un concept d'uniformisation avec les administrations voisines. L'Ontario et Terre-Neuve et Labrador sont les seuls à utiliser cette couleur en Amérique du Nord (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007; St-Jacques et Groleau, 2013). De nouvelles configurations devaient donc être développées afin de passer à la seconde étape d'évaluation sur le terrain.

3.6.5 Comparaison de différentes configurations sur le terrain – Phase 2

Les configurations avec les couleurs orange et noir ayant été abandonnées, les configurations retenues pour la phase 2 sont des prototypes basés sur la balise actuelle du MTQ, c'est-à-dire avec des pellicules orange et blanche mais avec des hauteurs de bandes différentes et/ou des types de pellicule différents (Figure 3.35).

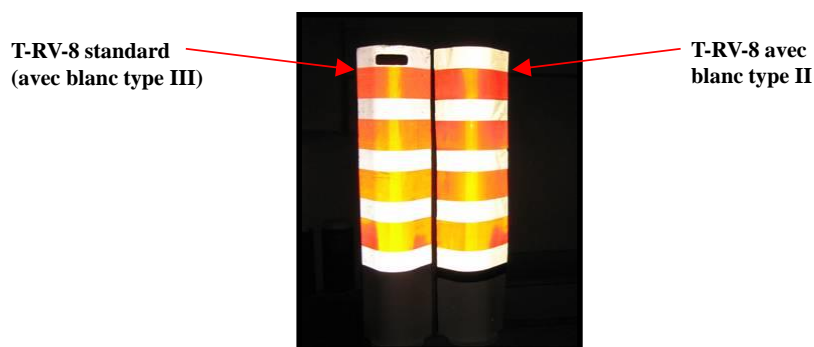


Figure 3.35 : Pellicule blanche type III vs type II

Photographie : Michèle St-Jacques

Les configurations retenues pour la deuxième série d'évaluations sur le terrain sont :

- une balise T-RV-8 sans modification (statu quo);
- une balise T-RV-8 dont les bandes blanches de type III ont été remplacées par des bandes blanches de type II (Figure 3.35);
- une balise avec 4 bandes orange (type VII) de 140 mm et 3 bandes blanches (type III) de 110 mm;
- une balise avec 4 bandes orange (type VII) de 140 mm et 3 bandes blanches (type II) de 110 mm;
- une balise avec 3 bandes orange (type VII) de 150 mm et 2 bandes blanches (type III) de 120 mm;
- une balise avec 3 bandes orange (type VII) de 150 mm et 2 bandes blanches (type II) de 120 mm.

Les essais ont été réalisés de jour et de nuit sur la rue Pullman. La vitesse de passages des véhicules a été limitée à 50 km/h. Les configurations à évaluer étaient placées en mini biseau de 5 balises identiques espacées de 5 mètres. Dix-sept observateurs, assis dans des véhicules de hauteur variée dont un chasse-neige, ont participé à cette deuxième série d'évaluations sur le terrain (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007; St-Jacques et Groleau, 2013).

Les meilleurs résultats aux niveaux de la lisibilité et de la visibilité ont été obtenus avec la balise du statu quo, soit la balise T-RV-8 non modifiée au niveau de la largeur des bandes et du type de pellicule (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007; St-Jacques et Groleau, 2013).

3.6.6 Synthèse des résultats obtenus

Lors de l'étude de St-Jacques, Assaf et Groleau (2007), les meilleurs résultats ont été obtenus avec des balises orange et noir ou orange et bleu mais elles ont toutes été rejetées par le comité de suivi du ministère des Transports du Québec (MTQ).

En utilisant les couleurs orange et blanc, aucun prototype testé n'a été jugé supérieur à la balise actuelle du MTQ.

Il est difficile de conclure en faveur d'un type de pellicule plutôt qu'un autre. La différence de rétro réflexion entre la pellicule blanche de type II et la pellicule blanche de type III est trop faible pour observer une influence tangible. Par contre, les balises de 1,2 m ont été préférées aux balises de 1 m (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007; St-Jacques et Groleau, 2013).

En ce qui a trait à l'éblouissement ou au halo pouvant créer un inconfort pour certains conducteurs, l'analyse des différents commentaires, le visionnement des vidéos et l'analyse des photographies permettent de dire que ce phénomène est créé par la pellicule blanche. Il est cependant important de mentionner que tous les tests ont été réalisés avec des pellicules neuves ayant une capacité rétro réfléchissante maximale (St-Jacques, Assaf et Groleau, 2007).

La Figure 3.36 montre la différence, au niveau des pellicules, entre des balises avec des pellicules neuves et des balises dont les pellicules se sont légèrement dégradées par leur utilisation sur des chantiers.



Figure 3.36 : Pellicules neuves vs pellicules usées

Photographie : Michèle St-Jacques

3.7 Conclusion

Ce chapitre a traité de cinq types de signalisation, soit la signalisation lumineuse; la signalisation horizontale; la signalisation verticale; la supersignalisation dont plus particulièrement les plaques odonymiques; et la signalisation de travaux actuellement utilisée au Québec.

Au niveau des feux de circulation, s'ils doivent être installés pour des raisons de capacité ou de sécurité, il faut prendre des mesures pour minimiser les inconvénients liés à leur installation. L'installation de boucles de détection sur l'artère secondaire et la synchronisation des feux de circulation sont des mesures qui peuvent être mises en place.

Le but du marquage, aussi appelé signalisation horizontale, est de guider le conducteur afin qu'il puisse circuler dans des conditions de sécurité optimales. Au Québec, il est fréquent de constater que le marquage est majoritairement effacé après un hiver rigoureux. Un modèle de référence de dégradation de la visibilité du marquage pourrait être développé afin de prédire l'état du marquage et de rationaliser et optimiser les ressources du Ministère.

Afin d'avoir un impact positif sur la sécurité routière, la signalisation doit être uniforme, comprise par tous, simple et claire (RGRA, 1995). Il faut faire un usage judicieux des panneaux de signalisation. Une attention particulière doit être portée aux endroits où le conducteur risque d'être distrait par le paysage et aux endroits où le champ visuel peut être obstrué.

Un des objectifs des routes consiste à mener un usager de la route vers une destination. La signalisation d'indication doit donc guider, diriger et orienter l'usager de la route vers la destination recherchée.

Les plaques ononymiques doivent permettre à tous les usagers de la route, peu importe leur acuité visuelle, de circuler en toute sécurité. Lorsque les plaques de noms de rue sont difficiles à lire et/ou à trouver aux carrefours, cela peut nuire à la fluidité de la circulation et même entraîner des problèmes au niveau de la sécurité routière. Les plaques de nom de rue doivent être facilement repérables, très visibles, très lisibles et toujours situées au même endroit aux différents carrefours d'une même municipalité/arrondissement/quartier afin que le conducteur n'ait pas à les chercher. Les plaques ononymiques devraient avoir une couleur de fond foncée afin de respecter les critères de contraste pour la conduite de jour comme de nuit et pour faire un bon contraste avec le milieu environnant.

Si la signalisation joue un rôle très important au niveau de la sécurité routière, la signalisation de travaux a un double rôle. Elle doit guider les usagers de la route, comme tout autre type de signalisation, mais elle doit aussi protéger les travailleurs de la construction. Les balises orange et noir ou orange et bleu pour délimiter les chantiers de construction sont les plus lisibles et les plus visibles. Ces couleurs vont par contre à l'encontre des couleurs majoritairement utilisées en Amérique du Nord et n'entrent pas dans un concept d'uniformisation avec les administrations voisines. Les balises d'une hauteur de 1,2 m comme celles qui sont utilisées au Québec (T-RV-7) sont préférées aux balises de 1 m comme celles qui sont utilisées en Ontario. La pellicule blanche de type III actuellement utilisée sur les balises du Québec peut créer un inconfort chez certains conducteurs (éblouissement ou halo) lorsque la pellicule est neuve. Le coefficient de rétro réflexion semble toutefois diminuer avec les salissures en conditions normales de chantiers.

Voilà des recommandations pour la signalisation, mais il faut se souvenir que ce n'est pas la signalisation qui fait réduire la vitesse de circulation, mais plutôt les aménagements physiques. Le gestionnaire de la route doit faire en sorte que le conducteur fasse naturellement ce qu'on attend de lui. Plusieurs types de ralentisseurs de la circulation peuvent être utilisés. C'est ce qui sera vu dans les prochains chapitres.

CHAPITRE 4

STATIONNEMENTS

4.0 Introduction

Il faut prévoir l'aménagement d'espaces de stationnement dans les villes. Ces espaces doivent être intégrés, dans la mesure du possible, dans un plan d'aménagement global (St-Jacques, 1992a; St-Jacques 1992b). Selon le CETUR (1990a), l'effet « ralentisseur » du stationnement peut être très efficace. C'est d'ailleurs dans cet optique que des espaces de stationnement sur rue ont été aménagés sur le boulevard René-Lévesque à Québec (St-Jacques 1994a; St-Jacques, 1994b).

Il existe divers types de stationnement en milieu urbain. Il y a les stationnements sur rue à angle; les stationnements sur rue en parallèle; les stationnements hors-rue longue durée et les stationnements hors-rue courte durée.

Le nombre de places de stationnement nécessaires est directement relié au taux de motorisation (Mackay, 1984). En plus d'un espace de stationnement résidentiel, des espaces peuvent être nécessaires pour le travail, les études et les autres activités (loisirs, magasinage, soins de santé, restauration). L'achalandage et le type d'utilisation du sol permettent d'évaluer les besoins en stationnement.

4.1 Stationnement sur rue

Le stationnement sur rue est nécessaire au maintien de l'activité des centres-villes, des zones commerciales, des zones industrielles et des zones de services (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018i).

Le stationnement sur rue retranche toutefois une voie de circulation et affecte la circulation sur la voie adjacente. La capacité de la voie adjacente au stationnement sur rue est réduite de 15% s'il y a une dizaine de manœuvres de stationnement par heure et de 30% s'il y a une quarantaine de manœuvres de stationnement par heure (St-Jacques, 2017b; Transports Québec, 2018i). Le stationnement sur rue est également une source d'insécurité pour les automobilistes car il occasionne de l'interférence lors des manœuvres d'entrée et de sortie des places de

stationnement et de l'ouverture des portières. De plus, des piétons peuvent se faufiler entre les véhicules stationnés.

Si du stationnement sur rue doit être aménagé, il est toutefois possible de faire des aménagements particuliers pour augmenter la sécurité routière.

4.1.1 Stationnement sur rue à angle

L'aménagement de stationnement sur rue à angle permet d'aménager un plus grand nombre de places de stationnement par unité de longueur de trottoir que le stationnement sur rue en parallèle courant comme le montre la Figure 4.1. Selon Transports Québec (2018i), un aménagement à 90° fournit 2,5 fois plus d'emplacements qu'un aménagement en parallèle.



Figure 4.1 : Stationnement à angle vs stationnement en parallèle (Florida, USA)

Photographie : Paul Bourque

Toutefois, de nombreuses études ont prouvé que le stationnement à angle est plus dangereux que le stationnement en parallèle (Bourque, 2009). Le principal risque vient du manque de visibilité lorsque le véhicule sort à reculons. De plus, les places libres sont plus difficiles à repérer dans un stationnement à angle ce qui force certains automobilistes à ralentir exagérément lorsqu'ils cherchent un espace pour se garer (Figure 4.2).

Afin de faciliter et sécuriser les manœuvres de stationnement, il est possible d'obliger les conducteurs à stationner à reculons lorsque le stationnement est à angle (Figure 4.3). Selon ce principe, le conducteur a une meilleure visibilité lorsqu'il quitte son espace de stationnement (Bourque, 2009; St-Jacques, 2017b).



Figure 4.2 : Stationnement sur rue à angle (Caen, France)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 4.3 : Stationnement sur rue à angle (rue Parthenais, Montréal)

Photographie : Michèle St-Jacques

4.1.2 Stationnement sur rue en parallèle

Tout comme le stationnement à angle, le stationnement sur rue en parallèle peut être la source d'accidents. C'est notamment le cas dans les rues très étroites où l'ouverture des portières et les manœuvres de stationnement sont plus risquées (Figure 4.4).

L'ouverture d'une portière peut également être une source d'accident lorsqu'une piste cyclable est aménagée sur rue entre la bande de stationnement et le trottoir (Figure 4.5).

Au niveau du stationnement sur rue, certains aménagements ont été observés au Québec et ailleurs et mériteraient d'être copiés. Ainsi, en Belgique, les véhicules sont stationnés, à certains endroits, sur une surface légèrement surélevée par rapport à la surface de roulement (Figure 4.6). Cela peut créer de l'insécurité chez les conducteurs adjacents, car les véhicules stationnés sont plus haut qu'eux. Cet aménagement peut donc avoir un impact sur la sécurité routière car

les conducteurs doivent être plus vigilants et donc circuler moins rapidement à proximité de ces places de stationnement.

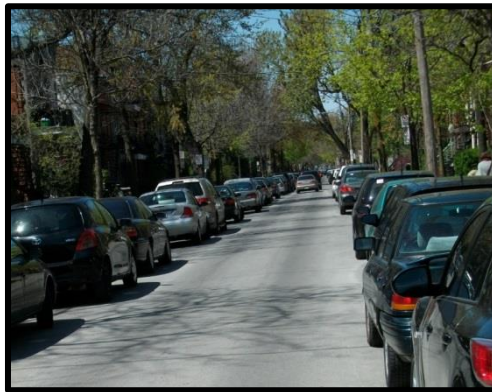


Figure 4.4 : Stationnement sur rue étroite (Plateau Mont-Royal, Montréal)

Photographie : Luc Pellecuer



Figure 4.5 : Stationnement à proximité d'une piste cyclable (Montréal)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 4.6 : Stationnement surélevé sur rue (Belgique)

Photographie : Michèle St-Jacques

Dans certaines villes françaises, dont Paris, Nantes et Montpellier, des stationnements sur rue sont aménagés sur une voie dédiée (Figure 4.7). En séparant les véhicules stationnés et ceux qui veulent se stationner des véhicules en transit, la sécurité est nettement accrue car les véhicules qui empruntent la voie dédiée circulent à une vitesse nettement inférieure à ceux qui poursuivent leur chemin sur la voie principale.



Figure 4.7 : Stationnement sur voie dédiée (Paris)

Photographies : Michèle St-Jacques

Au Québec, certaines villes offrent des stationnements sur rue jumelés. Il s'agit d'un stationnement en parallèle mais les places sont aménagées en série de 2. Les stationnements jumelés offrent le même nombre de places de stationnement que les stationnements en parallèle courants. Toutefois la longueur des cases de stationnement est différente.

Pour un stationnement courant, au Québec, les cases ont une longueur comprise entre 6,7 et 7,5 m. Pour le stationnement jumelé, les cases sont de 5,5 à 6,3 m chacune mais chaque série est séparée par une bande non aménagée de 2,4 m (Figure 4.8).

Le stationnement en parallèle jumelé est plus esthétique et réduit le risque d'accidents car les conducteurs ont plus de visibilité et de place pour effectuer leurs manœuvres de stationnement (Figure 4.9). Les piétons peuvent traverser dans la bande de 2,4 m plutôt qu'entre deux véhicules stationnés et être ainsi plus visibles. Il est toutefois très important de conserver cette bande de 2,4 m libre pour que les véhicules puissent effectuer leurs manœuvres de stationnement.

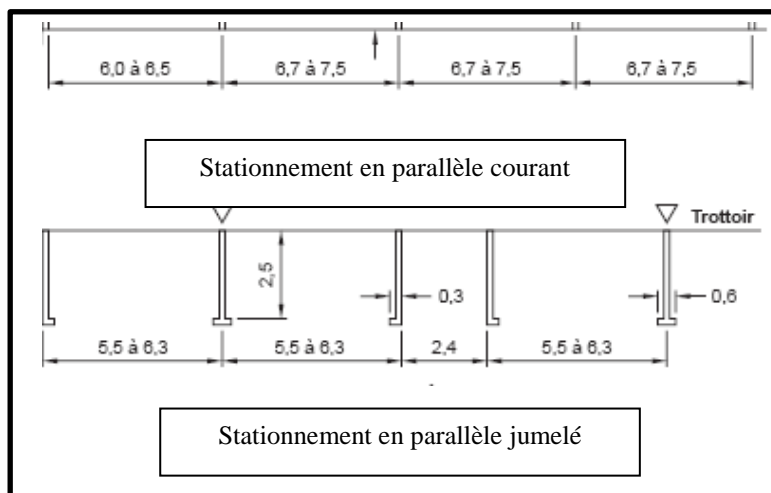


Figure 4.8 : Stationnement courant vs stationnement jumelé (Québec)

Source : Adaptée de Transports Québec, 2018i

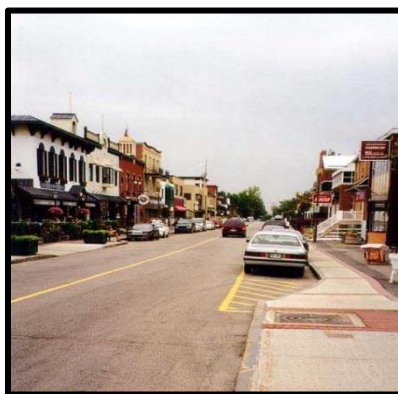


Figure 4.9 : Stationnement en parallèle jumelé (Sillery, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

Enfin, il a été constaté que dans certains pays européens, bien que ce ne soit pas permis, il est toléré que les conducteurs puissent stationner dans les deux sens de la circulation (Figure 4.10). Ainsi, si une place de stationnement est disponible de l'autre côté de la rue, le conducteur peut s'y stationner directement sans avoir à effectuer de virage en U. Il serait intéressant de vérifier si cette mesure a un impact au niveau de la sécurité routière. Bien que pratique pour les conducteurs qui cherchent une place de stationnement, cette façon de faire peut entraîner de l'inquiétude chez un conducteur qui s'engage dans une rue où un véhicule est stationné dans le mauvais sens de la circulation. Il peut alors croire, à tort, s'être engagé dans une rue à sens unique dans le mauvais sens.



Figure 4.10: Stationnement sur rue dans les deux sens (Deauville, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

4.2 Stationnement hors-rue

Le stationnement hors-rue se divise en deux catégories, soit les stationnements hors-rue longue durée et les stationnements hors-rue courte durée. Normalement, les stationnements hors-rue longue durée ont un faible taux de roulement. Ils servent principalement de stationnement pour les immeubles à bureaux, les institutions scolaires ou l'incitation au transport en commun (gare, terminus d'autobus, aéroport).

Les stationnements hors-rue courte durée ont un fort taux de roulement. Ils servent surtout à la clientèle de commerces, restaurants, musées ou autres.

Comme ce n'est pas le même type de clientèle qui est visé, les dimensions des cases de stationnement diffèrent. Les normes du ministère des Transports du Québec recommandent d'aménager (Transports Québec, 2018i) :

- des cases de 2,4 m x 5,1 m pour le stationnement longue durée;
- des cases de 2,5 m x 5,1 m pour le stationnement courte durée;
- des allées de 7,1m entre les rangées de stationnement.

Or, une largeur de case de stationnement de 2,4 m ou 2,5 m peut causer de l'insécurité chez certains conducteurs. Les propriétaires de véhicules neufs peuvent même être tentés de prendre deux places de stationnement pour éviter de se faire accrocher par la portière du véhicule stationné à ses côtés.

L'expérience a démontré qu'en aménageant des cases de stationnement de 2,75 m de largeur x 5,3 m de longueur et en diminuant la largeur de l'allée centrale à 6,4 m, cet inconfort est réduit

et le nombre total de cases de stationnement aménagées est sensiblement le même sur un grand parc de stationnement hors-rue (St-Jacques 1995a; St-Jacques 1995b).

En plus des allées centrales, il est recommandé d'aménager une voie de ceinture de 11 m autour du parc de stationnement de centres commerciaux pour faciliter les déplacements des véhicules en transit et l'accès aux véhicules d'urgence (ambulances, camions de pompiers). Ces recommandations ont été appliquées à des stationnements réalisés au Québec à Rimouski, Dorval, Mascouche, Rosemère, Brossard, Montréal, Hull et Québec (Annexe II).

Il est à noter qu'il y a beaucoup de différence entre les stationnements européens et québécois au niveau de la largeur des cases de stationnement comme le montre la Figure 4.11.



Carnon, France

Place Longueuil, Québec

Figure 4.11: Largeur des cases de stationnement France vs Québec

Photographies : Michèle St-Jacques

Le Tableau 4.1 compare les dimensions recommandées pour les cases de stationnement et les allées de circulation au Québec, en France, à Ottawa (Ontario, Canada) et aux États-Unis.

La largeur de 2,75 m recommandée précédemment est la norme dans la Capitale canadienne et aux États-Unis.

Tableau 4.1 : Dimensions des cases de stationnement selon l'endroit

| | Québec | France | Ottawa, Canada | États-Unis |
|---------------------|----------------|----------------------------|----------------|---------------|
| Norme | | NF P 91-100 NF P 91-120 | Article 106 | |
| Largeur de la case | 2,4 m 2,5 m | 2,30 m | 2,75 m | 2,75 m (9 pi) |
| Longueur de la case | 5,1 m | 5,0 m | 5,2 m | 5,5 m (18 pi) |
| Allée | 7,1 m | 5,0 m | 6,7 m | 7,3 m (24 pi) |

4.3 Stationnement pour motos et vélos

En plus des stationnements à angle sur rue pour les automobiles, il est possible d'aménager des stationnements à angle esthétiques pour motos (Figure 4.12). Ces motos étant stationnées hors-rue, elles risquent moins d'être accrochées par des voitures ou des camions. Elles sont aussi dégagées de l'espace réservé aux piétons.



Figure 4.12: Stationnements pour motos (Barcelone, Espagne)

Photographies : Michèle St-Jacques

Plusieurs types de stationnement pour vélos existent. Mais rares sont ceux qui pensent aux remorques derrière les vélos. Le concepteur devrait prévoir des espaces suffisants pour ces vélos particuliers (Figure 4.13).



Figure 4.13: Stationnement pour vélo avec remorque (Barcelone, Espagne)

Photographie : Michèle St-Jacques

4.4 Offre et demande en stationnement

Lors de la réalisation d'un plan directeur de stationnement pour une ville, il faut évaluer l'offre et la demande en stationnement.

4.4.1 Détermination des besoins en espaces de stationnement

Le nombre d'espaces de stationnement requis est déterminé à partir du calcul des différentes superficies aménagées et à aménager dans la ville. Ces calculs doivent être faits par secteur de la ville. Ainsi, chaque ville doit être divisée en secteurs. Un secteur correspond à un territoire qu'un piéton peut marcher raisonnablement d'un bout à l'autre après y avoir stationné son véhicule. Il faut donc prendre pour hypothèse qu'un véhicule qui se dirige dans le secteur A stationnera seulement son véhicule dans le secteur A.

Les superficies par secteur de la municipalité à calculer concernent les commerces (en m²); les bureaux (en m²); les musées (en m²); les espaces vacants (en m²); etc.

Il faut aussi relever le nombre de chambres, de logements et de chambres d'hôtels ainsi que le nombre de sièges de cinéma ou de théâtre.

La plupart des villes du Québec possèdent leurs propres normes de stationnement selon le zonage (Mackey, 1984). Ainsi des espaces de stationnement sont prévus en fonction des divers éléments de la ville : bureaux; commerces; restaurants; bibliothèques; musées; maisons d'enseignement; centres sportifs; théâtres; ou autres. Ces espaces sont fonction de la présence ou non de transport en commun sur le territoire et tiennent compte des déplacements à pied.

À titre indicatif, pour une ville québécoise desservie par un bon système de transport en commun (autobus mais pas de métro), les cases à prévoir sont de l'ordre de (Mackey, 1984; St-Jacques, 1992a) :

- 1 case par 50 m² de superficie nette de plancher administratif;
- 1 case par 30 m² de superficie nette de plancher commercial;
- 1 case par 40 m² de superficie nette de plancher de musée;
- 1 case par 4 sièges de cinéma;
- 1 case par 2 chambres pour les 40 premières chambres d'hôtel et 1 case par 4 chambres pour les autres;
- 1,1 case par logement résidentiel.

4.4.2 Disponibilité des espaces de stationnement actuels

Avant d'aménager de nouveaux espaces de stationnement, il faut vérifier la disponibilité des espaces actuels. Pour ce faire, il faut recenser le nombre de places total pour chacun des stationnements sur rue et hors-rue du secteur. Il faut ensuite vérifier le taux d'occupation de tous ces stationnements en juillet (tient compte des vacances), septembre et décembre (tient compte des véhicules remisés pour l'hiver).

La tarification à l'heure, au jour et au mois doit être relevée. Un stationnement peut offrir beaucoup d'espaces disponibles mais être déserté compte tenu de son tarif trop élevé. Le mode de paiement doit aussi être relevé : privé, public, parcomètres, horodateurs, vignettes, ou autre.

4.4.3 Détermination du nombre de places de stationnement à aménager

À partir des besoins en espaces de stationnement calculés selon les superficies et de la disponibilité des espaces de stationnement actuels, il est possible de déterminer le nombre de places de stationnement supplémentaires requis.

Ce nombre peut toutefois être diminué en utilisant la méthode dite du stationnement partagé (Shared Parking) (St-Jacques, 2017b). Cette méthode tient compte du fait qu'une même place de stationnement peut être occupée par un résidant la nuit et un travailleur le jour (St-Jacques, 1992a; St-Jacques, 2017b).

4.5 Plan de jalonnement

Afin de mieux gérer la circulation automobile, certaines villes mettent en place un plan de jalonnement des différents parcs de stationnement sur leur territoire. Ainsi, une signalisation indique en temps réel l'état d'occupation des différents stationnements du secteur (Figure 4.14).



Biarritz, France

Montréal, Québec

Figure 4.14: Disponibilité des espaces de stationnement dans le secteur

Photographies : Michèle St-Jacques

Les visiteurs qui désirent se garer obtiennent très rapidement l'information quant à la disponibilité des places de stationnement dans les différents parcs de stationnement du secteur. Ce système réduit considérablement le temps de recherche d'une place de stationnement et augmente la fluidité de la circulation et la sécurité routière.

4.6 Conclusion

Puisqu'il faut prévoir l'aménagement d'espaces de stationnement, sur rue et hors-rue, dans les villes, ces espaces devraient être intégrés dans un plan d'aménagement global et être aménagés de façon à minimiser leurs impacts sur la sécurité routière. Les espaces de stationnement sur rue peuvent être esthétiques et assurer une forme de modération de la circulation en limitant les vitesses de circulation à proximité de ces espaces.

Le stationnement sur rue à angle à reculons, en plus d'offrir un plus grand nombre de places de stationnement par unité de longueur de trottoir que le stationnement sur rue en parallèle courant, facilite et sécurise les manœuvres de stationnement.

Au niveau du stationnement sur rue en parallèle, certains aménagements mériteraient d'être copiés dont la surélévation des espaces de stationnements par rapport à la surface de roulement; l'aménagement d'espaces de stationnement sur des voies dédiées; et l'aménagement de cases de stationnement jumelées. Il faudrait aussi vérifier si le fait de stationner son véhicule dans les deux sens de la circulation, peu importe que ce soit ou non dans le bon sens de la circulation, a un impact positif au niveau de la sécurité routière.

Pour les stationnements hors-rue, la largeur d'une case de stationnement de 2,75 m de largeur devrait être la norme partout en Amérique du Nord. Les villes devraient mettre en place un plan de jalonnement des différents parcs de stationnement, indiquant en temps réel l'état d'occupation des différents stationnements du secteur, afin d'augmenter la fluidité de la circulation et la sécurité routière.

Le stationnement en milieu urbain ne doit pas être banni. Il est essentiel autant pour les commerces que pour les résidents et leurs visiteurs. Il doit par contre être bien intégré au milieu urbain. Il peut servir de modérateur de la circulation lorsque les places de stationnement alternent de côté de rue comme l'a fait la commune de La Montagne en France (Figure 4.15). Le stationnement sur rue protège les piétons des éclaboussures et crée aussi de l'animation. Le piéton se sent moins seul lorsque des véhicules sont stationnés en bordure de la route où il circule (St-Jacques, 1992a; St-Jacques, 2017b).



La Montagne, France

Figure 4.15: Utilisation des espaces de stationnement comme modérateur de la circulation

Photographies : Michèle St-Jacques

CHAPITRE 5

MODÉRATION DE LA CIRCULATION EN VILLE

5.0 Introduction

Le concept de modération de la circulation (aussi connu sous le terme anglais Traffic Calming) a fait son apparition au début des années 1960 en Hollande (Pays-Bas) (Schlabach, 1997; Daniel, Chien et Lu, 2005; Crevier et St-Jacques, 2007). Ce concept s'est rapidement développé et a mené à des gains considérables en sécurité dans de nombreux pays dont l'Allemagne, l'Australie, la Belgique, le Danemark, la Finlande, la France, le Luxembourg, la Norvège, le Royaume-Uni et la Suède (Bellalite, 2000; Crevier et St-Jacques, 2007).

En France, c'est le programme interministériel *Ville plus sûre, Quartiers sans accident* qui a modifié la façon de concevoir des routes (CETUR, 1990a). Ce programme a permis aux divers concepteurs de routes de lutter contre l'insécurité routière. Il a donné des outils pour gérer les conflits entre vie urbaine et circulation.

La modération de la circulation en ville est un concept qui vise un meilleur partage de l'espace public et un meilleur équilibre entre les divers modes de transport. Tous les usagers de la route et les riverains sont pris en compte. C'est en quelque sorte l'aménagement d'une rue selon sa dimension transversale, soit de façade à façade (Rolland, 2017).

Bellalite (2000) définit la modération de la circulation comme un processus qui vise à remodeler la route et ses abords afin de modérer la circulation et de réduire les désagréments associés à cette circulation.

5.1 Mesures physiques

Au Québec, l'irrespect du *Code de la Sécurité Routière* est réel (St-Jacques et al., 2002; St-Jacques, 2016). Il a effectivement été démontré qu'au Québec, dans les zones de 50 km/h, trois conducteurs sur cinq roulent à plus de 50 km/h et un sur cinq à plus de 65 km/h. Or, c'est dans les zones de 50 km/h qu'on retrouve 50% des accidents légers, 20% des accidents mortels et environ 37% des accidents graves (Marret, 1998).

L'irrespect du Code de la sécurité routière ne se remarque pas juste au niveau de la vitesse de roulement. Aussi, un automobiliste sur deux poursuit sa course même si un piéton est engagé

sur des bandes de marquage jaunes des traverses piétonnes non signalisées. Un conducteur sur deux ne respecte pas les feux piétons aux carrefours signalisés. Dans les zones où le virage à droite au feu rouge (VDFR) est permis, un conducteur sur deux ne fait pas son arrêt complet avant de tourner. Suite à toutes ces constatations, il est clair que ce ne sont pas les panneaux de limite de vitesse ou autres panneaux qui font ralentir les usagers de la route (St-Jacques et Bourque, 2001; St-Jacques et al., 2002; St-Jacques, 2017b).

Une autre étude, effectuée par St-Jacques en 2016, a montré que face à un panneau STOP, seulement 32,8% des conducteurs québécois s'immobilisent complètement. 48,6% des conducteurs québécois ralentissent sans s'arrêter et 18,6% poursuivent leur trajet sans ralentir. Cette étude, étalée sur les 4 saisons, a été réalisée, en périodes de pointe et hors-pointe, en zones urbaines, scolaires, touristiques et rurales. C'est en zone scolaire que le panneau STOP est le plus respecté avec 61,5% d'arrêt complet mais 18,3% des conducteurs québécois poursuivent leur trajet sans s'immobiliser même s'ils sont dans une zone scolaire (St-Jacques, 2016).

Or, plusieurs mesures peuvent être mises en place pour limiter la vitesse de circulation des véhicules motorisés, modifier le comportement des conducteurs et assurer la sécurité de tous les usagers de la route. Avant de mettre en place ces mesures, il est très important que tous les acteurs du secteur soient consultés au préalable; autant les politiques (élus et gestionnaires de la voie) que les usagers de la route que les riverains (citoyens et résidents). Il faut l'accord de tous les individus concernés.

Le concepteur ne doit pas plaquer des mesures sans réelle justification ou parce que c'est la mode. Il ne faut pas semer une série d'aménagements ponctuels sans cohérence d'ensemble. Chaque site doit être analysé préalablement (Chapitre 1) afin de bien identifier les mesures à mettre en place pour modérer la circulation. Le concepteur routier doit concevoir un aménagement qui incite les conducteurs à faire naturellement ce qu'on attend d'eux, soit ralentir pour pouvoir réagir s'ils voient un obstacle (piéton, cycliste ou autre véhicule). En plus d'agir sur le comportement des conducteurs, le concepteur routier doit aussi agir sur le comportement des « locaux » qui sont parfois sur la route mais aussi parfois sur la piste cyclable ou le trottoir. Le concepteur doit donc agir sur le paysage. Il doit faire en sorte que ces décors qu'il construit puissent faire vivre une nouvelle vie urbaine (CETUR, 1990a; CERTU, 1994; St-Jacques, 2017b).

Parmi les mesures qui peuvent être mises en place, il y a :

- l'implantation d'îlots plantés ralentisseurs, de chicanes, de dos d'âne allongé, de coussins berlinois, de plateaux surélevés et de passages pour piétons surélevés;
- la réduction de la largeur des voies de circulation;
- l'aménagement des banquettes;
- la plantation d'arbres et de végétation;
- l'aménagement de voies par paliers (les véhicules motorisés, les vélos et les piétons sont sur trois paliers différents);
- les avancées de trottoir et les refuges pour piétons;
- l'utilisation de différents revêtements routiers (Chapitre 6);
- la création de bandes d'alerte transversales (Chapitre 6);
- les déviations horizontales ou verticales;
- l'aménagement d'intersections.

Certaines de ces mesures sont illustrées aux Figures 5.1 à 5.11. Des explications suivent chacune de ces figures.



Figure 5.1 : Îlot planté ralentisseur (Ile des Sœurs, Montréal, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

L'aménagement d'un îlot planté ralentisseur fait vraiment ralentir les conducteurs. L'îlot est aménagé à même les voies de circulation existantes. Celui de l'Ile des Sœurs est situé dans une courbe. La largeur de la voie de circulation est donc réduite dans la courbe. Le rayon de virage est ainsi restreint et force les véhicules motorisés à ralentir considérablement leur course pour poursuivre leur route. En plus de créer un inconfort chez les conducteurs, il permet aux piétons de traverser plus facilement. La largeur de voie à traverser est réduite et ils ont un espace protégé pour les accueillir au centre de l'îlot.



Figure 5.2 : Voies par palier (Ottawa, Ontario)

Photographie : Michèle St-Jacques

En donnant un palier à chaque usager de la route comme cela a été fait à Ottawa, soit un palier pour les véhicules motorisés, un second pour les cyclistes et un troisième pour les piétons, cela évite les conflits et diminue le risque d'accidents entre ces divers usagers de la route.



Figure 5.3 : Avancée de trottoir (Barcarès, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Une avancée de trottoir à l'entrée d'un milieu urbain entraîne une diminution de la largeur de la voie de circulation. En plus d'alerter visuellement les conducteurs qu'ils approchent d'un milieu bâti, cela les force à ralentir. À Barcarès, une avancée de trottoir a également été aménagée un peu plus en aval, soit à la sortie du milieu urbain. Les véhicules sont donc repoussés vers le centre de la chaussée dans les deux directions, augmentant ainsi le risque de face à face et provoquant un inconfort chez les conducteurs. Ceux-ci sont donc obligés de ralentir de façon naturelle sans qu'une signalisation les invite à le faire.



Figure 5.4 : Réduction de la largeur des voies de circulation (Moulins, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Lorsque l'emprise roulable est large et confortable, elle incite les conducteurs à rouler rapidement. Un revêtement bitumineux coloré peut être utilisé pour réduire cette emprise roulable en milieu bâti. Le revêtement coloré devient un marquage permanent qui délimite bien les espaces. C'est esthétique et ça crée une certaine ambiance par rapport au revêtement noir traditionnel. Les conducteurs réalisent qu'ils sont dans un secteur particulier. Ils sont plus attentifs et lèvent le pied de l'accélérateur.



Figure 5.5 : Plantation d'arbres et de végétation (Montréal, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

La plantation d'arbres et de végétation en bordure de la route joue sur la vision périphérique des conducteurs. Ainsi, lorsque les arbres sont plantés à une distance constante, cela donne une impression de vitesse aux conducteurs. De la même façon, de laisser la végétation pousser en bordure de route, cela crée un inconfort chez les conducteurs. En plus de la sensation de vitesse créée par le déplacement des herbes lors du passage des véhicules, la proximité de la végétation

aura tendance à repousser les véhicules vers la voie adjacente, créant ainsi une réduction de la largeur de la voie de circulation.

Cet aménagement a été réalisé avec succès sur la rue Jean-Talon à Montréal. Le véhicule circulant dans la voie de droite se décale vers sa gauche à cause de la végétation et le véhicule circulant dans la voie de gauche, se sentant envahi, se décale à son tour vers le terre-plein central ou la ligne axiale. Les deux véhicules étant inconfortables dans leurs conduites, ils réduisent naturellement leur vitesse de circulation.



Figure 5.6 : Chicane (D226, Cuverville, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

L'aménagement d'une chicane, soit l'aménagement de deux virages successifs rapprochés et artificiels, crée un inconfort chez les conducteurs et les force à ralentir.

C'est visuel et ça peut être utilisé pour alerter les conducteurs qu'ils changent de milieu, soit qu'ils arrivent en milieu urbain. Le CERTU a publié en 2012 un Guide de recommandations techniques sur ce type d'aménagement.



Figure 5.7 : Déviation de l'axe de la route (Barcarès, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

À l'entrée de Barcarès, un aménagement spécial utilisant plus d'un dispositif de modération de la circulation a été créé. Ainsi, à proximité du milieu urbain, une déviation empêche le véhicule de continuer sa route en enlignement droit et le déporte sur sa droite. Il doit alors emprunter un mini giratoire où deux routes s'offrent à lui, soit une route de transit à gauche et une route pour la circulation locale à droite. La vitesse des véhicules est considérablement ralentie après avoir franchi ces dispositifs de modération de la circulation. En plus d'être efficace, c'est très esthétique.



Figure 5.8 : Bande d'alerte transversale (Palavas Les Flots, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Pour annoncer la proximité d'une zone habitée, une bande d'alerte transversale peut être aménagée sur la chaussée. En plus d'être visuel, c'est sonore. Le conducteur est donc averti qu'il se passe quelque chose à proximité.

Ce type d'aménagement est aussi utilisé comme alerte visuelle et sonore à proximité des traverses à niveau (Figure 6.25) et des zones scolaires. Les traces de gomme observées sur la Figure 6.25 montrent que la bande d'alerte a bien joué son rôle puisque plusieurs véhicules ont freiné sur cette bande. Si le passage du train n'alertait pas le conducteur, la bande semble l'avoir alerté efficacement.

Comme c'est assez bruyant, compte tenu de la grosseur des gravillons utilisés, il est préférable de mettre les bandes d'alertes transversales à une bonne distance des habitations mais assez près pour que les conducteurs perçoivent ce qu'ils doivent respecter en aval.



Figure 5.9 : Plateau surélevé (Anglet, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Dans les zones scolaires, un plateau surélevé peut être aménagé au début et à la sortie de la zone. Le plateau couvre l'ensemble du carrefour. Les piétons qui traversent au carrefour sont alors très visibles car ils sont plus hauts que les véhicules motorisés. Le conducteur doit réduire considérablement sa vitesse pour franchir de façon confortable et sécuritaire le plateau. Lorsqu'un revêtement bitumineux coloré est utilisé pour réaliser le plateau, cela augmente encore plus sa visibilité.

Le CERTU a publié en 2010 un Guide de conception des coussins et des plateaux.



Figure 5.10 : Passage pour piétons surélevé (Verdun, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

Plutôt que le carrefour au complet, il peut arriver que ce soit le passage pour piétons seulement qui soit surélevé. Les piétons sont alors plus visibles car plus haut que les véhicules motorisés. Qu'il y ait ou non des piétons, les véhicules doivent ralentir pour franchir le passage surélevé.



Figure 5.11 : Avancée de végétation (Survilliers, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Une avancée de végétation, telle que montrée à la Figure 5.11, désaxe les véhicules de leur route. Cela a le même effet qu'une chicane. Les véhicules doivent ralentir leur course pour contourner la végétation. C'est à la fois une barrière visuelle pour indiquer aux conducteurs qu'ils changent de milieu. Ça peut servir de porte, d'entrée de ville.

5.2 Entrées de ville

Il n'y a pas toujours d'indication claire de l'endroit exact où commence le centre urbain d'une petite ville ou d'un village. Parfois, le conducteur ne réalise pas qu'il arrive en milieu bâti et

qu'il doit modifier sa conduite de manière à ce que les activités quotidiennes de la rue principale se déroulent en toute tranquillité, sécurité et convivialité (Lessard, St-Jacques et Williams, 1999; Lessard, St-Jacques et Williams, 2000; Lessard, St-Jacques et Williams, 2003). Cela peut alors entraîner des problèmes de sécurité routière.

Les entrées de ville permettent de faire la transition entre un milieu rural (ou périurbain) et un milieu urbain (Frobert, 1999; Gariépy et al., 2006; Rocher, 2013).

Un aménagement physique à l'entrée d'une ville, d'un village ou d'un quartier peut servir de porte d'entrée et de modération de la circulation. Ainsi, en plus d'avoir une fonction d'accueil, l'entrée de ville signale à l'utilisateur de la route qu'il franchit une limite urbaine, qu'il doit adapter sa conduite et modifier son comportement routier.

Il y a différents types d'entrée de ville. Il peut s'agir :

- de l'aménagement de carrefours giratoires (Chapitre 2) et de l'insertion d'îlots (Figure 5.12). Les véhicules doivent ralentir pour franchir le carrefour. C'est visuel et la plupart du temps esthétique.



Figure 5.12: Insertion d'îlots (Villeneuve Les Sablons, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

- de la création de portes.
- d'un décalage latéral de la chaussée (Figure 5.13). Une chicane à l'entrée d'une ville fait ralentir. Cela capte l'attention des conducteurs et modifie leur comportement routier.



Figure 5.13: Décalage latéral de la chaussée (Villeneuve Les Sablons, France)

Photographies : Michèle St-Jacques

- de bandes d'alertes transversales (Figure 5.14). Ces bandes sont à la fois visuelles et sonores. Elles avertissent les conducteurs qu'ils franchissent une limite. Bien qu'esthétiques, elles sont toutefois très bruyantes pour les résidences situées à proximité compte tenu des matériaux utilisés.



Figure 5.14: Bandes d'alertes transversales (Survilliers, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

- d'un rétrécissement ou resserrement de la chaussée.
- de la création de perspectives, notamment par l'utilisation de végétaux (Figure 5.15) ou d'éléments architecturaux (Figure 5.16). L'ajout d'éléments spécifiques au centre de la chaussée ou en bordure de la route fait prendre conscience visuellement aux conducteurs qu'ils changent de milieu.

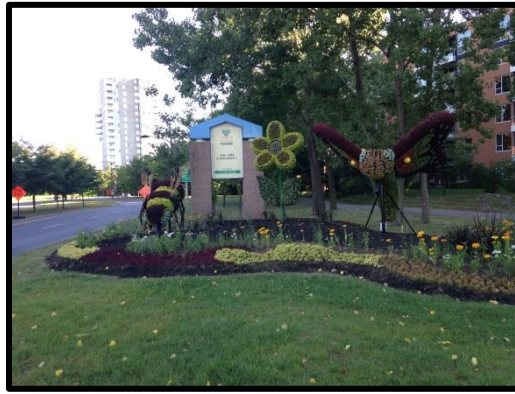


Figure 5.15: Utilisation de végétaux (Ile des Sœurs, Montréal, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

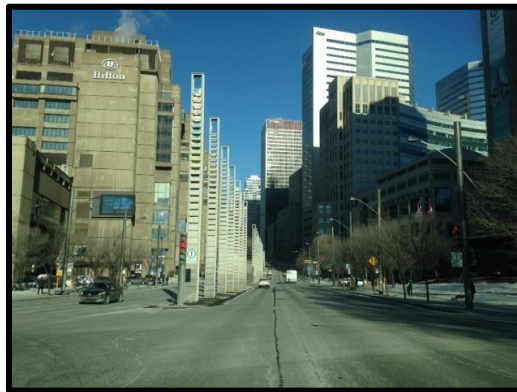


Figure 5.16: Utilisation d'éléments architecturaux (Montréal, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

➤ d'un éclairage particulier.

L'entrée de ville doit être une alerte visuelle pour tous les usagers de la route afin d'assurer leur sécurité et leur cohabitation. Les usagers de la route ne sont pas seulement les automobilistes, ce sont aussi les camionneurs, chauffeurs d'autobus, cyclistes, piétons et riverains (Lessard, St-Jacques et Williams, 1999; Lessard, St-Jacques et Williams, 2000; Lessard, St-Jacques et Williams, 2003).

Lessard, St-Jacques et Williams (2000) précisent que pour assurer la sécurité et la mobilité de tous les usagers de la route, incluant les piétons et les cyclistes, il faut absolument réduire la fluidité de la circulation de transit.

La route est souvent perçue comme un corridor de circulation où le conducteur peut rouler rapidement sans tenir compte des limites de vitesse pourtant très visibles. La Figure 5.17 montre

que la vitesse limite sur cette rue est de 30 km/h et que c'est une zone scolaire. Mais si le conducteur ne regarde pas les panneaux en bordure de route, la conception actuelle de la rue l'invite à circuler rapidement. Aucun obstacle ne le fait ralentir. Les voies de circulation sont excessivement larges. Et bien que des véhicules soient stationnés de part et d'autre de la route, cela ne le fera pas ralentir car il y a de l'espace.



Figure 5.17: Zone scolaire invitant à la vitesse (Montréal, Québec)

Photographie : Luc Pellecier

L'affichage de limites de vitesse a peu d'impact s'il n'est pas accompagné de mesures concrètes obligeant les conducteurs à ralentir (Mackey, 2000; Lessard, St-Jacques et Williams, 2003; Crevier et St-Jacques, 2007; St-Jacques, 2009a; St-Jacques, 2009b; St-Jacques, 2017b).

Bellalite (2000) précise que les routes larges et rectilignes incitent le conducteur à accélérer alors qu'il a tendance à ralentir lorsqu'il perçoit des difficultés sur la route.

Les mesures de modération de la circulation, telles que le rétrécissement de la chaussée; le contraste de matériaux et/ou de couleurs (Chapitre 6); et les parois latérales, végétales ou autres, peuvent augmenter la sécurité des entrées de ville (Lessard, St-Jacques et Williams, 2003; Crevier et St-Jacques, 2007; St-Jacques, 2009a; St-Jacques, 2009b; St-Jacques, 2017b).

Par contre, ces mesures peuvent aussi avoir un effet négatif sur l'identité des lieux. Lessard, St-Jacques et Williams (1999, 2000 et 2003) mentionnent qu'il ne faut pas utiliser les mêmes stratégies partout. Il faut analyser les entrées de ville dans un contexte d'ensemble de la ville, du village ou du quartier.

Certaines entrées de ville restreignent physiquement et psychologiquement l'espace de roulement alors que d'autres entrées ont un rôle plus identitaire. Ainsi, l'entrée de ville peut

servir à mettre en valeur des perspectives visuelles ou des attributs paysagers locaux (Lessard, St-Jacques et Williams, 1999; Lessard, St-Jacques et Williams, 2000; Lessard, St-Jacques et Williams, 2003).

Lorsque l'aménagement d'une entrée de ville entraîne une réduction de la vitesse des véhicules motorisés, il est suggéré d'obtenir au préalable l'assentiment de la collectivité locale, soit des habitants du lieu (ville, village, quartier) et de ses espaces limitrophes (Lessard, St-Jacques et Williams, 1999; Lessard, St-Jacques et Williams, 2000; Lessard, St-Jacques et Williams, 2003).

5.3 Boulevards urbains

Les boulevards traditionnels, tout comme les autoroutes urbaines, sont essentiellement des voies rapides qui assurent la fluidité de la circulation. Ils fractionnent très souvent les villes et les quartiers. À l'opposé, les boulevards urbains stimulent une mobilité et un développement plus durables (IAU, 2016).

L'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Île-de-France (IAU) (2016) mentionne que des réaménagements d'autoroutes urbaines en avenues ou boulevards urbains se font dans un mouvement mondial des métropoles pour :

- tenir compte de la pluralité des mobilités et des usages;
- optimiser l'espace public;
- améliorer la qualité de l'air;
- offrir un meilleur cadre de vie;
- stimuler la redynamisation économique et sociale des quartiers.

Selon Ascher et Apel-Muller (2007), responsables de l'exposition parisienne « *La rue est à nous tous!* », les relations dans la rue sont parfois difficiles dû à la demande accrue en espaces publics et à l'augmentation des mobilités urbaines et des modes de transport. Certaines solutions préconisent que les fonctions doivent être séparées et les espaces spécialisés afin de gérer les conflits de passage, d'accès ou de voisinage. Alors que d'autres solutions visent plutôt la coexistence et la conciliation des différentes vitesses plutôt que la hiérarchisation des vitesses. L'exposition de 2007 a présenté une cinquantaine de projets d'architecture et d'urbanisme, conçus par des agences internationales, qui réinventent la rue et les systèmes de rues; améliorent

les divers usages; font cohabiter les mobilités; organisent des espaces de rencontre; et font des rues des lieux de rapprochement.

Ascher et Apel-Muller (2007) parlent de rues multiples, soit « de projets qui réintroduisent de manière contemporaine la complexité et la mixité d'usages qui caractérisaient les boulevards urbains du 19^e siècle ». Ils parlent aussi de rues intermodales, soit « de projets qui se distinguent par l'introduction de rues actives dans des espaces de transports jusque-là dépourvus d'espaces publics ouverts aux activités ».

Jacobs (1995) a analysé et observé plusieurs boulevards et grandes rues à travers le monde. Il croit que la séparation des véhicules motorisés et des piétons diminue la sécurité et la vitalité des communautés. Il ajoute que lorsque les conducteurs sont pleinement conscients de la présence des piétons, la sécurité est accrue. Jacobs (1995) recommande de concevoir des grandes rues ou boulevards où les piétons et les conducteurs s'entendent.

Architecte et urbaniste, Soulier (2012) précise qu'une place disproportionnée est parfois accordée à la voiture mais que cette situation n'est pas inéluctable et qu'il est possible de reconquérir les rues sans tout démolir et reconstruire. Selon lui, si toute la place dans la rue est accordée aux voitures pour rouler et se stationner, « nous sommes chez elles, pas chez nous ». Il fait référence à de nombreux exemples de reconquête des rues à travers le monde dont en Allemagne, en Angleterre, au Danemark, en Hollande, en Suisse, au Japon, aux États-Unis et au Canada. Selon Soulier (2012), une rue résidentielle, pour être vivante, a besoin d'être habitée et non seulement parcourue. Les riverains peuvent contribuer à la vie de leur rue et à sa prise en charge.

Lecroart (2015) rappelle le paradigme de l'après-guerre, soit « adapter la ville à l'automobile » entraînant ainsi l'étalement urbain, la ségrégation sociale, le bruit, la pollution, et les coupures urbaines. L'analyse que Lecroart (2015) a faite des transformations d'autoroutes urbaines en avenues ou boulevards urbains à Portland (Oregon, USA), New-York (USA), San Francisco (USA), Séoul (Corée du Sud) et Vancouver (Canada) montre que ces transformations ont permis :

- une réduction du trafic automobile au profit de d'autres modes de transport;
- une augmentation des déplacements à vélo;
- une forte croissance des déplacements à pied;

- une cohabitation entre la vie urbaine et la circulation;
- une renaissance progressive des secteurs avec moins de voitures et plus d'espaces publics.

Le succès de ces transformations d'autoroutes urbaines en avenues ou boulevards urbains dépend de nombreux facteurs dont le plus important est la volonté politique (Lecroart, 2015).

Le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU) en France qualifie les boulevards urbains de voies qui permettent de réconcilier vie locale et circulation. Dans ces boulevards, ce ne sont pas les panneaux de signalisation qui font ralentir les gens mais les aménagements géométriques. Le boulevard urbain met en valeur les territoires qu'il traverse, tout en servant adéquatement les communautés avoisinantes. La route s'intègre au milieu traversé plutôt que de s'imposer (CETUR, 1990a; CERTU, 1998; St-Jacques, 2017b).

Au Québec, de plus en plus de boulevards dits «traditionnels» sont réaménagés en «boulevards urbains». L'objectif principal de ces boulevards urbains est l'amélioration de la sécurité et de la qualité de vie. Tous les usagers du réseau routier, autant les véhicules motorisés que les piétons ou les cyclistes, ont leur place. L'environnement du boulevard est mis en valeur par, notamment, des plantations, du mobilier urbain et de l'éclairage (St-Jacques et Bourque, 2001).

Les objectifs d'aménagement d'un boulevard urbain ont rapport à (CETUR, 1990a; CERTU, 1998; St-Jacques et Bourque, 2001; St-Jacques, 2017b) :

- la sécurité;
- la circulation;
- le stationnement;
- les activités du territoire;
- l'accessibilité;
- le fonctionnement global du territoire où le boulevard est aménagé.

5.3.1 Aménagements de boulevards urbains au Québec

Depuis 1987, plusieurs municipalités du Québec ont procédé à des réaménagements géométriques de boulevards traditionnels sur leur territoire. Mackey (1998) estime qu'une

trentaine de municipalités avaient réalisé différents aménagements afin de rendre leurs rues, artères ou boulevards conviviaux à la fin des années 1990.

Les objectifs de ces réaménagements sont nombreux. Parmi ceux-ci, il y a :

- accroître les espaces de stationnement;
- favoriser la circulation piétonnière;
- augmenter l'espace pour le mobilier urbain;
- aménager une zone protégée pour les piétons et les cyclistes.
- réduire la vitesse de roulement des véhicules motorisés;
- rendre le boulevard plus esthétique;
- favoriser la coexistence des différents usagers de la route;
- rehausser le sentiment de sécurité des riverains;
- accroître la densité et la viabilité de l'ensemble commercial.

Deux réaménagements méritent d'être vus plus en détails, soit ceux de la rue Galt Ouest à Sherbrooke et celui du boulevard René-Lévesque à Québec. La rue Galt Ouest est la première artère au Québec et au Canada à avoir utilisé des dispositifs physiques de modération de la circulation comme ceux qui sont utilisés en Europe. Quant au boulevard René-Lévesque, l'auteure de cette thèse y a été personnellement impliquée en tant qu'ingénieur concepteur, responsable des volets transport et circulation (Annexe II).

Rue Galt Ouest, Sherbrooke

C'est dans un objectif de modération de la circulation que la rue Galt Ouest, à Sherbrooke, a été réaménagée à la fin des années 1990. Tel que mentionné précédemment, il s'agit du premier boulevard au Canada à avoir été aménagé avec des dispositifs physiques de modération de la circulation.

En 1996, soit avant son réaménagement, la rue Galt Ouest, entre les rues Laflèche et De Lisieux (tronçon de 700 m), était caractérisée par une circulation lourde (jusqu'à 18% de camions dans une direction) et une circulation de transit importante. Bien que la vitesse affichée était de 50 km/h, la vitesse de roulement mesurée était de l'ordre de 70 km/h avec des pointes allant jusqu'à 140 km/h en soirée. Les piétons avaient donc un sentiment d'insécurité lorsqu'ils devaient traverser la rue (Bellalite, 1998; St-Jacques et Bourque, 2001).

Afin de réduire la vitesse de circulation et améliorer la sécurité des usagers non motorisés, divers aménagements ont été réalisés. Ainsi (St-Jacques et Bourque, 2001) :

- la largeur de la chaussée a été réduite afin de faciliter la traversée des piétons;
- des avancées de trottoirs ont été aménagées aux intersections (Figure 5.18);



Figure 5.18: Avancées de trottoir sur la rue Galt Ouest (Sherbrooke, Québec)

Source : Adaptée de Google Maps

- une rupture visuelle a été créée par un aménagement paysager;
- des îlots ont été implantés au centre de la chaussée;
- la rue a été désaxée;
- l'éclairage a été rehaussé.

Ce réaménagement de la rue Galt Ouest a eu de nombreux avantages au niveau de la circulation et de la sécurité routière, soit (Bellalite, 1998) :

- une diminution de 4 à 8 km/h de la vitesse de circulation des véhicules particuliers;
- une diminution de 10 à 15 km/h de la vitesse moyenne des véhicules lourds;
- une réduction de 5% du nombre total de véhicules lourds;
- un accroissement de la sécurité des piétons aux carrefours de la rue Galt Ouest;
- une réduction du nombre d'accidents;
- l'élimination des comportements à risque en alignement droit et aux carrefours de la rue Galt Ouest.

Boulevard René-Lévesque Est, Québec

Alors que la rue Galt a été aménagée avec des dispositifs de modération de la circulation, le boulevard « traditionnel » René-Lévesque Est (alors nommé boulevard Saint-Cyrille), à Québec, a été transformé en boulevard « urbain » (St-Jacques, 1994a; St-Jacques, 1994b). Le tronçon réaménagé, d'une longueur de 850 mètres, est situé entre l'avenue Turnbull et l'avenue Honoré-Mercier.

À l'origine, le boulevard traditionnel René-Lévesque Est avait un caractère plus ou moins autoroutier avec des voies de circulation larges et peu ou pas de mobilier urbain (Figure 5.19). Les piétons et les cyclistes s'y sentaient peu en sécurité car ils étaient coincés entre des voies de circulation et les véhicules motorisés roulaient plus vite que la limite permise. Il a effectivement été démontré qu'au Québec, dans les zones de 50 km/h, trois conducteurs sur cinq roulent à plus de 50 km/h et un sur cinq à plus de 65 km/h (Marret, 1998; St-Jacques et Bourque, 2001; St-Jacques, 2017b).



Figure 5.19: Boulevard René-Lévesque Est à l'origine (Québec, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

En plus d'être très large, le boulevard était aménagé sur deux niveaux entre l'avenue Honoré-Mercier (anciennement le boulevard Dufferin-Montmorency) et la rue de Claire-Fontaine. Il y avait très peu de raccords nord-sud pour les autos et les piétons. Les piétons qui désiraient accéder à la colline parlementaire, à partir des hôtels situés en face, devaient marcher jusqu'à l'avenue Honoré-Mercier pour traverser le boulevard René-Lévesque puis revenir sur leurs pas (Figure 5.20). . Par temps froid, ce n'était pas l'idéal.



Figure 5.20: Boulevard René-Lévesque Est sur deux niveaux (Québec, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

Les objectifs fixés par la Ville de Québec au niveau de la circulation, lors du réaménagement du boulevard René-Lévesque Est, consistaient à :

- éliminer le caractère autoroutier du boulevard René-Lévesque;
- contrôler la vitesse de circulation;
- renforcer le caractère piétonnier du secteur;
- favoriser une meilleure intégration au milieu environnant tout en maintenant des conditions de déplacement acceptables.

Le boulevard René-Lévesque Est longe la colline parlementaire à Québec. Des édifices importants tels le Grand Théâtre de Québec, la Commission de la capitale nationale du Québec, l'Hôtel Hilton, l'Hôtel Delta et le Centre des congrès de Québec ont leur façade sur ce boulevard.

Le réaménagement du boulevard a permis (St-Jacques, 1994a; St-Jacques, 1994b) :

- d'aménager le boulevard sur un seul niveau (Figure 5.21). Le mur entre les deux chaussées a été démolit, éliminant ainsi le caractère autoroutier du boulevard.



Figure 5.21: Boulevard René-Lévesque Est sur un niveau (Québec, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

- de raccorder les rues transversales dans un axe nord-sud. Les véhicules peuvent ainsi accéder facilement à ces rues sans avoir à faire de détours.
- de permettre la traversée des piétons dans un axe nord-sud à tous les carrefours. Les piétons peuvent accéder directement à la colline parlementaire à partir des hôtels sans avoir à se rendre à l'avenue Honoré-Mercier.
- d'aménager des espaces de stationnement sur rue. Les places de stationnement sur le boulevard sont là pour créer de l'ambiance (Chapitre 4), inciter des déplacements, rassurer les piétons, leur montrer qu'ils ne sont pas seuls sur le boulevard.
- de réduire la largeur des voies de circulation et les rayons de virage afin de limiter la vitesse de roulement. Les rayons très serrés retenus aux différents carrefours forcent les véhicules, et surtout les véhicules lourds, à pratiquement s'immobiliser avant de faire leur manœuvre de virage.
- de dégager les édifices en aménageant un parc linéaire du côté de la colline parlementaire. Du mobilier urbain a été installé et de la végétation a été plantée pour mettre en valeur le boulevard René-Lévesque.
- d'ajouter des phases exclusives pour les piétons aux différents feux de circulation. Le piéton a suffisamment de temps pour traverser le boulevard en une fois, sans avoir à s'immobiliser au centre du boulevard.

- de synchroniser les feux de circulation pour contrôler la vitesse de roulement (Chapitre 3). Une congestion artificielle du boulevard a été créée, à la demande de la Ville, afin de mettre de l'ambiance. Des véhicules, immobilisés aux différents carrefours ou qui circulent à vitesse réduite, indiquent aux piétons, tout comme les véhicules stationnés, qu'ils ne sont pas seuls sur le boulevard. Le même principe a été utilisé dans la deuxième phase du projet, soit lors de la synchronisation des feux de circulation de l'avenue Honoré-Mercier (Annexe II). Dans son mémoire de maîtrise, Rocher (2013) mentionne que « les feux de circulation ont minutieusement été synchronisés afin de ralentir la circulation et diminuer l'agressivité des conducteurs. Ceux qui respectent la limite de vitesse affichée n'ont pas à s'immobiliser alors que ceux qui circulent à une vitesse supérieure à la vitesse affichée doivent s'arrêter à plusieurs reprises aux feux de circulation ».
- d'aménager une zone protégée pour les piétons et les cyclistes. Tous les modes de transport ont leur espace spécifique. Ainsi, en plus des voies dédiées aux véhicules motorisés et de la voie réservée au transport en commun, une zone surélevée a été aménagée pour les cyclistes et les piétons. Les cyclistes sont invités à circuler du côté gauche de cette zone alors que les piétons doivent se tenir à droite, soit près du parc linéaire (Figure 5.22).



Figure 5.22: Zone protégée pour piétons et cyclistes (Québec, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

- d'augmenter la sensation de sécurité des piétons et des cyclistes. Les piétons se sentent moins seuls et surtout moins pris en souricière entre deux voies de circulation (Figure

5.19). Les cyclistes circulent sur un autre niveau que les véhicules motorisés, réduisant ainsi les risques d'accident avec ces véhicules (Chapitre 9).

- de créer une ambiance (Figure 5.23). Un tel aménagement n'incite pas à la vitesse. Le boulevard est mis en valeur. Chaque usager du réseau routier y trouve sa place.



Figure 5.23: Boulevard René-Lévesque Est réaménagé (Québec, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

5.4 Conclusion

Le concepteur routier ne doit plus concevoir des routes qui offrent les meilleurs niveaux de service et la plus grande fluidité. Il doit plutôt créer des aménagements routiers conviviaux qui améliorent la sécurité routière et permettent à chaque utilisateur du réseau routier (piéton, cycliste, automobiliste, camionneur, chauffeur de transport en commun) d'y trouver sa place.

Afin d'améliorer la sécurité routière en milieu urbain, le concepteur routier doit s'assurer que la signalisation est claire, lisible et visible. Il doit par contre se rappeler que ce n'est pas la signalisation qui fait ralentir les usagers de la route mais plutôt les différents dispositifs de modération de la circulation.

Le trafic calming est un concept qui vise un meilleur partage de l'espace public, un meilleur équilibre entre les divers modes de transport, et une réduction des désagréments liés à la circulation des véhicules motorisés. C'est l'aménagement d'une rue selon sa dimension transversale. Tous les usagers de la route et les riverains sont pris en compte dans ce concept.

En plus de favoriser la coexistence des différents usagers de la route et de permettre des gains considérables au niveau de la sécurité routière, les aménagements de modération de la

circulation permettent souvent d'embellir le secteur traversé et de faire vivre une nouvelle vie urbaine.

Plusieurs aménagements peuvent être mis en place pour inciter les conducteurs de véhicules motorisés à faire naturellement ce qu'on attend d'eux, soit diminuer leur vitesse de circulation afin d'assurer la sécurité de tous les usagers de la route. Ces aménagements consistent en l'implantation d'îlots plantés ralentisseurs, d'espaces de stationnement, de chicanes, de dos d'âne allongé, de coussins berlinois, d'avancées de trottoir, de déviations de la route, de plateaux surélevés et de passages pour piétons surélevés; en la réduction de la largeur des voies de circulation; en l'aménagement des banquettes; en la plantation d'arbres et de végétation en bordure et/ou au centre de la route; en la mise en place de voies par paliers selon le mode de transport (motorisé, cycliste, piéton); en l'utilisation de différents revêtements routiers; en la création de bandes d'alerte transversales; en l'aménagement de carrefours giratoires.

Les carrefours giratoires peuvent aussi être utilisés comme entrées de ville au début des centres urbains. Les entrées de ville servent à indiquer aux conducteurs qu'ils changent de milieu, qu'ils arrivent en milieu bâti et qu'ils doivent adopter leur conduite en conséquence. Outre les carrefours giratoires, ces « portes » peuvent être réalisées avec un éclairage particulier, différents matériaux routiers, de la végétation ou des éléments architecturaux.

Pour tenir compte de la pluralité des mobilités et des usages, optimiser l'espace public et offrir un meilleur cadre de vie, plusieurs autoroutes urbaines à travers le monde sont réaménagées en avenues ou en boulevards urbains.

À l'opposé des autoroutes urbaines et des boulevards traditionnels qui assurent la fluidité de la circulation et fractionnent très souvent les villes et les quartiers, les boulevards urbains mettent en valeur le territoire qu'ils traversent et donnent une place à chaque usager de la route. Les piétons et les cyclistes s'y sentent en sécurité et peuvent même avoir envie d'y flâner (Figure 5.24) (St-Jacques et Bourque, 2001; St-Jacques, 2017b).

La sécurité, l'esthétique et la qualité de vie des riverains sont améliorés avec les boulevards urbains.



Figure 5.24: Piétons sur un boulevard urbain (Paris, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Tous les réaménagements de boulevards traditionnels en boulevards urbains observés et/ou analysés au Québec ont permis (St-Jacques et Bourque, 2001; St-Jacques, 2017b) :

- de rehausser le sentiment de sécurité des piétons et des riverains;
- de favoriser la coexistence des différents usagers de la route;
- de diminuer les vitesses de roulement;
- d'embellir le secteur traversé.

Le concepteur routier peut avoir recours à des couleurs et des textures pour réaliser les divers dispositifs physiques qui facilitent le partage de la route. Certains de ces matériaux colorés ou texturés font partie des nouvelles techniques routières qui répondent aux critères de développement durable. La troisième partie de la thèse traite de ces techniques routières urbaines.

PARTIE III

TECHNIQUES ROUTIÈRES

**CHAPITRE 6 : REVÊTEMENTS BITUMINEUX
COLORÉS**

**CHAPITRE 7 : TECHNIQUES ROUTIÈRES
URBAINES RÉPONDANT AUX CRITÈRES DE
DÉVELOPPEMENT DURABLE**

CHAPITRE 8 : ENROBÉS TIÈDES

La deuxième partie de la thèse a montré que le concepteur routier ne doit plus nécessairement essayer de créer des aménagements qui offrent les meilleurs niveaux de service et la plus grande fluidité aux véhicules motorisés. Il doit plutôt créer des aménagements routiers conviviaux qui améliorent la sécurité routière et qui permettent à chaque utilisateur du réseau (piéton, cycliste, automobiliste, camionneur ou chauffeur de transport en commun) d'y trouver sa place.

Pour réaliser ces nouveaux aménagements, le concepteur routier peut avoir recours aux revêtements bitumineux colorés. Lorsqu'intégrés efficacement dans la conception des divers dispositifs de modération de la circulation, ces revêtements colorés permettent d'améliorer la sécurité des riverains et des usagers de la route. De plus, ils répondent aux critères de développement durable. Selon Harlem Brundtland, le développement durable est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Ces revêtements seront vus en détails au Chapitre 6.

Les preneurs de décisions des grandes villes du monde font maintenant de la préservation de l'environnement et de la maîtrise des ressources énergétiques une priorité. Dans ce contexte, les entrepreneurs du Québec et d'ailleurs développent de plus en plus des produits dits « verts », « écologiques » ou « respectueux de l'environnement ». Huit procédés et techniques routières sont à même de satisfaire les notions de développement durable. Il s'agit :

- des revêtements bitumineux colorés;
- des enrobés tièdes;
- de la valorisation des sols en place par des traitements à la chaux et/ou au liant hydraulique des sols argileux;
- de la réutilisation des matériaux provenant de la démolition des bâtiments ou des assises de chaussées;
- du recyclage à chaud des matériaux bitumineux anciens;
- des enrobés acoustiques;
- des liants et fluxants « Bio ou Verts »;
- du recyclage en place à froid.

Ces techniques routières « vertes » seront vues au Chapitre 7.

Les enrobés tièdes répondent à des critères de développement durable car ils sont produits à des températures moindres, soit de 20°C à 60°C de moins que les enrobés à chaud traditionnels. L'économie d'énergie subséquente est donc appréciable à l'échelle des millions de tonnes d'enrobés qui sont produites annuellement. Pour leur fabrication, ces techniques font appel à diverses méthodes qui permettent de conserver la maniabilité des produits lors de l'épandage et du compactage, et d'obtenir des propriétés finales identiques à celles des enrobés à chaud conventionnels. Comme ces enrobés sont de plus en plus utilisés, pour le respect de l'environnement, ils feront l'objet d'un chapitre séparé, soit le Chapitre 8.

La troisième partie de la thèse traite donc des techniques routières urbaines qui répondent à des critères de développement durable.

CHAPITRE 6

REVÊTEMENTS BITUMINEUX COLORÉS

6.0 Introduction

Pendant plusieurs années, les aménagements de la voirie urbaine ont été adaptés à un accroissement continu de la circulation automobile avec l'élargissement des emprises roulables et la prédominance du noir des revêtements bitumineux. Or, les concepteurs routiers visent maintenant un meilleur équilibre des divers modes de déplacement et un meilleur partage de l'espace public au bénéfice de la vie locale et des usagers.

Dès la fin des années 1970, des chercheurs de différents pays industrialisés, dont l'Allemagne, l'Angleterre, les États-Unis, la France et l'Italie, ont voulu modifier les revêtements bitumineux noirs traditionnels pour les rendre plus lumineux, sécuritaires et esthétiques (Lassalle et al., 1980).

Les panneaux de signalisation ne suffisent pas à modérer la vitesse en milieu urbain ou suburbain (CETUR, 1990a; CERTU, 1998; St-Jacques, 2017b). Une meilleure perception des espaces urbains par les conducteurs entraîne une modification du comportement et une modération de la vitesse. C'est là que les revêtements bitumineux colorés peuvent jouer un rôle (St-Jacques, 2009a; St-Jacques, 2009b). La couleur est un moyen pour le concepteur d'améliorer le niveau de sécurité, de valoriser les espaces, de modérer la vitesse et de promouvoir des espaces particuliers (Brailly et Rennesson, 1995). Rennesson (1996) précise que la conception des espaces publics doit concilier la circulation, la sécurité et la vie locale afin que « la ville redevienne une ville et que la rue ne soit plus seulement une route ».

Ce chapitre présente les différentes techniques et les différents domaines d'applications des revêtements bitumineux colorés qui permettent d'améliorer la sécurité des riverains et des usagers de la route.

6.1 Techniques de revêtements bitumineux colorés

Il existe 4 techniques de revêtements bitumineux colorés. Il s'agit des :

- enduits superficiels d'usure (ESU);
- enrobés coulés à froid (ECF) et coulis bitumineux;

- asphaltes colorés;
- enrobés colorés.

Chacune de ces techniques a des caractéristiques de fabrication et d'utilisation spécifiques.

6.1.1 Enduits superficiels d'usure (ESU)

Les enduits superficiels d'usure représentent la technique de revêtement de chaussée la plus économique. Le plus souvent, il s'agit d'une monocouche simple gravillonnage, soit une couche de liant, généralement appliquée à chaud à la répandeuse, et une couche de gravillons de fine granularité (4/6 ou 6/10 mm) qui ont été choisis pour leur teinte. Des gravillons de forte granularité (10/14 mm) peuvent aussi être utilisés mais cela entraîne un niveau de bruit de roulement élevé (80 dB(A)) pour les usagers et les riverains (SÉTRA, 2005).

La coloration du revêtement est directement reliée à la couleur des gravillons (Figure 6.1). Les gravillons recouvrent en totalité la couche de liant, assurant ainsi la rugosité de surface, une bonne drainabilité et l'adhérence de la chaussée (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).



Figure 6.1 : Enduit superficiel d'usure (Arromanches, France)

Photographies : Michèle St-Jacques

La teinte du liant a peu d'influence sur la couleur finale du revêtement. Dans la majorité des cas ce sont des bitumes à chaud ou à froid classiques (bitume pur ou modifié par des polymères) qui sont utilisés. La pigmentation du liant est toutefois utile pour soutenir la teinte des gravillons et éviter le noircissement dans les bandes de roulement sur chaussées à trafic lourd.

Des dopes d'adhésivité, pulvérisés à l'interface lors du répandage des granulats sur la couche de liant, sont parfois nécessaires pour s'assurer qu'il n'y aura pas d'arrachements des granulats dans le temps ou sous trafic (St-Jacques et Brosseaud, 2002; St-Jacques et Brosseaud, 2008). Le SÉTRA (2005) mentionne, qu'outre le bruit de roulement, le rejet de gravillons au jeune âge est le second reproche que les usagers et les riverains font aux ESU.

Les enduits superficiels d'usure (ESU), avec gravillons colorés de fine dimension (4/6), sont utilisés pour les zones peu circulées telles que les pistes cyclables, les voies de tourne-à-gauche et les voies de tourne-à-droite (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; SETRA, 2005; St-Jacques et Brosseaud, 2008). Il s'agit alors de coloration de revêtement en faible épaisseur (SÉTRA, 2005).

6.1.2 Enrobés coulés à froid (ECF) et Coulis bitumineux

Les enrobés coulés à froid et les coulis bitumineux sont des mélanges de granulats, d'émulsion de bitume, d'eau et d'additifs. Les additifs (dope d'adhésivité, fibres, ciment) servent notamment, lors de l'application, à réguler la rupture de l'émulsion (soit accélérer ou retarder la rupture) en fonction des conditions climatiques. Ils sont fabriqués et mis en œuvre à froid au moyen d'un équipement spécifique (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).

Il n'y a pas de couche d'accrochage au support, l'émulsion en léger excès dans le mélange assure cette fonction. Après répandage, l'enrobé coulé à froid ou le coulis bitumineux ne nécessite généralement pas de compactage, sauf sur les surfaces peu ou pas circulées. La remise en circulation s'effectue après la rupture complète de l'émulsion, soit environ trente minutes après l'application. Cette technique bénéficie d'une bonne perception écologique (Chapitre 7) puisqu'il y a économie d'énergie et absence de rejet dans l'atmosphère sous forme de vapeur (St-Jacques et Brosseaud, 2002; St-Jacques et Brosseaud, 2008).

C'est le diamètre du granulat qui différencie le coulis bitumineux (D inférieur à 6,3 mm) de l'enrobé coulé à froid (ECF) (D égal ou supérieur à 6,3mm). En raison de leur faible rugosité et de leur adhérence très réduite, les coulis bitumineux 0/4 sont réservés aux zones non circulées ou très peu circulées telles que les zones piétonnes. Les enrobés coulés à froid colorés sont

utilisés pour les rues et les pistes cyclables (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; SÉTRA, 2005; St-Jacques et Brosseaud, 2008).

Pour des raisons économiques, les enrobés coulés à froid et les coulis bitumineux les plus répandus sont de couleur rouge (Figure 6.2). Ils sont composés de granulats de couleur rouge, d'un pigment d'oxyde de fer et d'une émulsion de bitume pur traditionnel (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).



Figure 6.2 : Enrobé coulé à froid de couleur rouge (France)

Photographie : Yves Brosseaud

Des applications d'enrobés coulés à froid avec liant de synthèse et colorants (autres que le rouge) peuvent toutefois être réalisées pour des bandes cyclables (Figure 6.3) ou des couloirs spécifiques.



Figure 6.3 : Enrobé coulé à froid de couleur verte (France)

Photographie : Yves Brosseaud

6.1.3 Asphaltes colorés

Les revêtements en asphalte sont composés de granulats concassés et riches en fines (22 à 30%) et d'un liant bitumineux fortement dosé de l'ordre de 6,5 à 8,5%, soit de 1 à 2,5% de plus que pour les enrobés bitumineux.

Dans le cas des asphaltes colorés, le liant est souvent un bitume pigmentable pour les revêtements de coloration rouge et un bitume de synthèse pour les autres couleurs. Le malaxage s'effectue entre 220 et 250°C. La coloration est obtenue dans la masse par des liants clairs spéciaux et des colorants (ajouts de pigments) (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).

Le revêtement en asphalte est de l'ordre de 20 à 30 mm d'épaisseur. Il ne nécessite pas de compactage mais n'est pas adapté à une circulation importante en raison de sa glissance. Un traitement de surface par bouchardage (qui donne des propriétés antidérapantes aux surfaces lisses), gravillonnage, sablage des granulats ou impression de motifs assure une rugosité suffisante pour les asphaltes en chaussées (Shell Bitumes, 1999; Shell Bitumes, 2001; St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008; Rosa, 2014).

Les asphaltes sont employés presque exclusivement en milieu urbain. Ils sont faciles d'emploi pour des petites surfaces difficiles d'accès. Ils sont utilisés notamment pour les trottoirs (Figure 6.4) (Pannetier, 1998; Zundel, 1999; St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques,

2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).



Figure 6.4 : Asphalté coloré (Surveilliers, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

6.1.4 Enrobés colorés

Les enrobés colorés sont fabriqués et mis en œuvre à chaud à des températures voisines de 150°C. Pour les revêtements colorés, du fait des surcoûts, seuls les enrobés de faibles épaisseurs (moins de 5 cm) sont retenus. Il est important d'avoir une couche d'accrochage dont la nature et le dosage sont adaptés au support et aux types de sollicitations. Des émulsions de bitume de synthèse claires doivent parfois être utilisées pour assurer le collage des revêtements en très faible épaisseur (2 à 3 cm) sur des zones recevant du trafic lourd et pour éviter des remontées de liant noir de cette couche d'accrochage traditionnelle dans le passage des roues (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).

Les enrobés colorés sont, soit des Bétons Bitumineux Mince (BBM) de 3 à 4 cm d'épaisseur, avec des granulats de dimension maximale 10 mm, de granularité généralement discontinue comportant environ 25 à 30% de sable, soit des Bétons Bitumineux Très Mince (BBTM), de 2 à 2,5 cm d'épaisseur, généralement avec des granulats de dimension maximale 6 mm, de granularité discontinue 2/4, ne comportant que 20 à 25% de sable. Les formulations d'enrobés colorés sont généralement plutôt sableuses et avec des granulats de dimension maximale réduite offrant un aspect de surface un peu plus fermé, d'où une plus grande homogénéité de la teinte et une meilleure réflexion de la lumière (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-

Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).

Les enrobés colorés peuvent être utilisés sur des routes fortement sollicitées telles que des autoroutes (Figure 6.5) (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).



Figure 6.5 : Enrobé coloré (Autoroute A6, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

6.2 Composantes d'un revêtement bitumineux coloré

Tout comme un enrobé noir traditionnel, un enrobé bitumineux coloré est composé de granulats et d'un liant. Les granulats et le liant doivent toutefois être choisis très minutieusement. L'ajout d'un colorant est nécessaire pour produire des couleurs spécifiques. Ce n'est pas plus compliqué à réaliser qu'un enrobé noir traditionnel. Il faut juste s'assurer de la propreté de tous les équipements et matériels utilisés.

6.2.1 Granulats

Les granulats sont les « ingrédients » les plus importants d'un revêtement bitumineux coloré. Ils doivent donc être choisis pour leur couleur. Celle-ci doit se rapprocher le plus possible de la couleur finale du revêtement bitumineux. Sous l'effet de l'usure causée par la circulation des véhicules, les gravillons se décaperont de leur pellicule de liant et par conséquent, à terme, la couleur dominante sera essentiellement celle du granulat; d'où l'importance primordiale du choix de la teinte du granulat dans les revêtements bitumineux colorés (Lassalle et al., 1980;

Domecq et Sicard, 1995). S'il est impossible de trouver des teintes similaires, il faut choisir des granulats de couleurs claires et utiliser des colorants. Le recours à des couleurs naturelles est de plus en plus fréquent pour insérer la route dans son environnement (Figure 6.6).



Figure 6.6 : Bonne intégration du trottoir dans son environnement (Saint-Jean-de-Monts, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

Les fines d'apport doivent également avoir une couleur semblable à celle du produit final. Les fines provenant de la même roche que les granulats est souvent souhaitable. Il est vivement déconseillé, selon le CERTU (1997), d'incorporer du filler récupéré, provenant d'autres fabrications de la centrale, lors de la fabrication.

Les propriétés mécaniques et géométriques des granulats doivent satisfaire aux classes de performances des normes sur les granulats en fonction des utilisations attendues, notamment vis-à-vis des sollicitations mécaniques du trafic lourd et des contraintes liées aux demandes d'adhérence. Le granulat doit avoir une bonne résistance à l'usure par polissage.

L'adhésion entre le liant et les granulats doit être vérifiée car il est fréquent de rencontrer des modifications de l'adhésivité avec les granulats colorés dues à la présence de certains oxydes. La résistance du revêtement bitumineux coloré vis-à-vis du désenrobage par l'eau doit aussi être vérifiée lors de l'étude de formulation (St-Jacques et Bertrand, 2001; St-Jacques et Bertrand, 2003).

6.2.2 Liants

Domecq et Sicard (1995) répartissent les liants utilisés dans les revêtements bitumineux colorés en deux groupes principaux, soit les liants bitumineux (bitumes purs classiques, bitumes dits

pigmentables, bitumes synthétiques colorables) et les liants à base de résines (époxydes, polyuréthanes, polyméthacryliques, acryliques et vinyliques). L'ajout de pigments de couleur, de nature minérale, permet d'obtenir des tonalités variées et durables, particulièrement pour les zones qui sont peu soumises à des dépôts et salissures importants (Serres et al., 1993).

Les bitumes routiers classiques, de couleur noire due aux asphaltènes, limitent leur usage aux enduits superficiels d'usure (ESU) où la coloration est essentiellement obtenue par la couleur des granulats utilisés. Ils peuvent être colorés uniquement en rouge brun par l'ajout d'oxyde de fer à des dosages de 3 à 4%.

Les bitumes pigmentables présentent une teneur réduite en asphaltènes (de l'ordre de 5%, au lieu de 15% pour le bitume classique) permettant une coloration rouge. D'autres couleurs comme des verts ou bleus sombres sont également possibles. Par leur faible dosage en asphaltènes, ces liants présentent une certaine susceptibilité à la température et sont sensibles aux charges lourdes. Des déformations par orniérage ou par fluage statique sont possibles. Ces liants ne peuvent donc être utilisés que sur des sites hors circulation ou à trafic modéré en véhicules lourds (St-Jacques et Brosseau, 2002; Brosseau et St-Jacques, 2002a; Brosseau et St-Jacques, 2002b; Brosseau et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseau, 2008).

Les bitumes de synthèse ou liants clairs sont des produits issus de la chimie du pétrole (LCPC, 1999). Ils sont obtenus par un procédé de raffinage spécial du pétrole conduisant à une base ne contenant pas d'asphaltène. Ces bitumes de synthèse ont une parfaite compatibilité avec les polymères thermoélastiques ou thermoplastiques. En film mince, ces bitumes de synthèse sont translucides (Figure 6.7). Ils peuvent donc être employés sans colorant pour laisser apparaître la couleur des granulats (St-Jacques et Brosseau, 2002; Brosseau et St-Jacques, 2002a; Brosseau et St-Jacques, 2002b; Brosseau et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseau, 2008).



Figure 6.7 : Bitume de synthèse
Photographie : Michèle St-Jacques

6.2.3 Colorants

L'incorporation de pigments (Figure 6.8) dans un bitume de synthèse permet d'obtenir une très large palette de couleurs de revêtements bitumes colorés, aux teintes plus ou moins vives, présentant une bonne clarté. Différents oxydes (Figure 6.9) permettent d'obtenir ces couleurs.



Figure 6.8 : Pigment d'oxyde de fer
Photographie : Michèle St-Jacques

En technique routière, ce sont les pigments minéraux qui sont utilisés, car ils résistent assez bien aux effets de la température lors de l'enrobage à chaud (fait à 150°C pour les enrobés et à près de 230°C pour les asphaltes), des intempéries et des rayons ultraviolets (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).



Figure 6.9 : Pigments de différentes couleurs

Photographie : Yves Brosseaud

Les colorants sont des oxydes métalliques, soit :

- les oxydes de fer pour les rouges et les jaunes;
- le chromate de plomb pour les jaunes clairs;
- l'oxyde de chrome pour les verts;
- l'oxyde ou l'aluminate de cobalt pour les bleus;
- l'oxyde de titane pour le blanc.

Le rouge est la couleur la plus employée pour des raisons de prix et parce que l'oxyde de fer est utilisable avec tous les types de liant. Les dosages en colorant sont faibles, soit de l'ordre de 0,5 à 2% suivant l'intensité de la couleur recherchée et la qualité colorimétrique du colorant employé. Ces pigments sont assimilés à des fines d'apport dont on tient compte dans la formulation du mélange au niveau de la recomposition granulaire.

Dans tous les cas, des études préalables en laboratoire, avec l'ensemble des composantes, sont indispensables (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).

6.2.4 Coûts

Les revêtements bitumineux colorés coûtent plus chers à réaliser que les enrobés noirs traditionnels car ils font appel à des constituants spécifiques particulièrement coûteux. De plus, il s'agit généralement d'assez faibles quantités produites alors les coûts additionnels peuvent difficilement être amortis.

Les revêtements bitumineux colorés nécessitent des attentions particulières lors des études de formulation (adaptation de la couleur sans modification des autres performances) et lors de leur fabrication et de leur mise en œuvre (stockage séparé des liants spéciaux, temps de malaxage plus long, nettoyage complet des équipements afin d'empêcher une altération de la teinte du revêtement). Pour obtenir une teinte nette et régulière, il faut s'assurer de la propreté des pelles, bennes de camion, cylindres et finisseurs; et respecter le même dosage de pigments (Lassalle et al., 1980).

Comme ordre de grandeur, St-Jacques et Brosseau (2002) mentionnent que, par rapport à un enrobé noir conventionnel de même épaisseur, le prix d'un enrobé rouge traditionnel avec un bitume pigmentable est deux fois plus élevé, alors que pour un enrobé de couleur avec un bitume de synthèse et des colorants variés, la fourchette de prix s'étend dans un rapport de 4 à 6. Le bitume de synthèse, issu de la chimie du pétrole est de 10 à 12 fois plus cher qu'un bitume pur de distillation directe, mais il présente aussi des propriétés supérieures car il est généralement modifié par l'incorporation de polymères.

6.3 Développement de revêtements bitumineux au Québec

Alors que les revêtements bitumineux colorés sont largement utilisés dans plusieurs pays européens, ce n'est pas encore le cas au Québec. Au début des années 2000, St-Jacques et Bertrand ont vérifié si le Québec possède les ressources nécessaires à la formulation de tels revêtements (St-Jacques et Bertrand, 2001; Bertrand, 2002; St-Jacques et Bertrand, 2002a; St-Jacques et Bertrand, 2002b; St-Jacques et Bertrand, 2003).

6.3.1 Couleurs de granulats disponibles au Québec

Pour une couche de roulement, la couleur du granulat a un effet prépondérant à moyen et long terme sur ce qui peut être considéré comme la couleur finale du revêtement. St-Jacques et Bertrand (2001; 2002a; 2002b; 2003) ont donc vérifié les matières premières disponibles au Québec pour la fabrication de revêtements bitumineux colorés. Elles ont fait un inventaire, par région, des différentes sources de granulats présentant une bonne rugosité, une bonne durabilité et des couleurs variées.

Sur les 76 carrières de pierres et de minéraux en exploitation au Québec lors de leur étude, le tiers exploitait des granulats colorés, majoritairement des granulats de couleur rose ou verte.

Il y a aussi, au Québec, quelques gisements de roches de couleur beige mais ils sont moins nombreux (Gaudreau et al., 2000; St-Jacques et Bertrand, 2001; Bertrand, 2002; St-Jacques et Bertrand, 2002a).

Le Tableau 6.1 présente la localisation et la couleur des différents granulats colorés de qualité par région administrative du Québec.

Tableau 6.1 : Localisation des différents granulats colorés par région

| Région administrative | Granulat vert | Granulat rose | Granulat beige |
|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Abitibi-Témiscamingue | oui | | |
| Cantons-de-l'Est (Estrie) | oui | | |
| Centre du Québec | oui | | |
| Duplessis (Côte Nord Est) | | oui | |
| Lanaudière | | oui | |
| Laurentides | | oui | oui |
| Manicouagan (Côte Nord Ouest) | | oui | |
| Montérégie | | | oui |
| Québec (Capitale-Nationale) | oui | oui | |
| Saguenay-Lac-St-Jean | oui | oui | |

Le Québec est un très grand territoire de 1 667 712 km² (3 fois la superficie de la France) qui compte 17 régions administratives (Figure 6.10). La concordance entre le Tableau 6.1 et la Figure 6.10 montre qu'il y a des granulats colorés de qualité dans les régions 02, 03, 05, 08, 09, 14, 15, 16 et 17. Il est donc possible de trouver des granulats colorés de qualité à proximité dans pratiquement toutes les régions du Québec, réduisant ainsi les frais de transport.

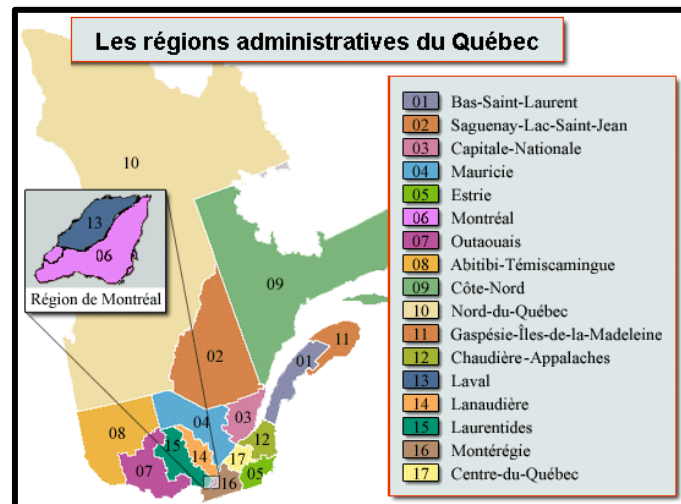


Figure 6.10 : Régions administratives du Québec

Source : www.axl.cefan.ulaval.ca, 2016

6.3.2 Formulations d'enrobés colorés pour le Québec

Puisque des granulats colorés de qualité sont disponibles au Québec, différentes formulations d'enrobés colorés, répondant aux critères de performance du ministère des Transports du Québec, ont été développées et testées en laboratoire.

Pour leur étude, St-Jacques et Bertrand (2001; 2002a; 2002b; 2003) ont retenu comme matériel:

- deux types de granulats, soit un granite de couleur rose et de l'ortho-quartzite de couleur vert pâle (Figure 6.11);
- deux types de liant, soit un bitume noir PG 58-28 et un bitume synthétique de couleur claire;
- deux types de pigments, soit de l'oxyde de fer (rouge) et de l'oxyde de chrome GN (vert).



Figure 6.11 : Granulats retenus
Photographies : Michèle St-Jacques

Il a été décidé de choisir, comme type d'enrobé à formuler, l'enrobé semi-grenu ESG-10. Ce type d'enrobé est conçu pour des zones urbaines à forte concentration de véhicules lourds (il est résistant à l'orniérage) et offre un certain confort aux cyclistes et aux patineurs du fait que le revêtement n'est pas trop grenu.

Quatre mélanges bitumineux ESG-10 pour couche de surface ont été préparés avec différentes composantes dans le but d'obtenir un enrobé d'une couleur intéressante. Les quatre mélanges étaient composés comme suit (Figure 6.12) :

- bitume noir et ortho-quartzite (MEL-1);
- bitume noir et granite (MEL-2);
- bitume noir, oxyde de fer et granite (MEL-3);
- bitume clair, oxyde de chrome et ortho-quartzite (MEL-4).



Figure 6.12 : Briquettes des 4 mélanges d'enrobés colorés
Photographie : Michèle St-Jacques

Les différents essais réalisés en laboratoire par Bertrand (St-Jacques et Bertrand, 2001; Bertrand, 2002; St-Jacques et Bertrand, 2002a; St-Jacques et Bertrand, 2002b; St-Jacques et Bertrand, 2003) ont montré que les granulats retenus ont rencontré les critères de performance des différentes normes du ministère des Transports du Québec, soit aux niveaux de :

- l'analyse granulométrique;
- l'essai Micro-Deval (résistance à l'usure);
- l'essai Los-Angeles (résistance à la fragmentation);
- le % de particules plates;
- le % de particules allongées;
- la densité;
- l'absorption;
- l'essai d'adhésivité.

Tous les enrobés ont également rencontré les exigences de la norme 4202 du ministère des Transports du Québec, soit aux niveaux de :

- la densité;
- le % de vides;
- la compacité;
- l'orniérage.

L'étude de formulation réalisée dans les laboratoires de l'École de technologie supérieure (ÉTS, Université du Québec) a donc démontré qu'il est possible de réaliser au Québec, avec les matériaux disponibles, des enrobés bitumineux colorés répondant aux différentes normes du ministère des Transports du Québec.

6.3.3 Mise en place d'un enrobé coloré au Québec

À l'automne 2015, un premier enrobé coloré a été mis en place sur le boulevard Portland à Sherbrooke, au Québec. Il s'agit d'un enrobé coloré de couleur rouge de type ESG-10. C'est la firme Eurovia qui a réalisé les travaux pour la Ville de Sherbrooke.

La Figure 6.13 montre une coupe de l'enrobé utilisé. La Figure 6.14 présente des photos prises lors de la mise en place de ce premier enrobé coloré au Québec.



Figure 6.13 : Coupe de l'enrobé utilisé
Photographies : Michèle St-Jacques



Figure 6.14 : Mise en place de l'enrobé coloré à Sherbrooke (Québec)
Photographies : Julie-Michelle Fortin

6.4 Usage urbain des revêtements bitumineux colorés

Les revêtements bitumineux colorés peuvent être utilisés pour de multiples aménagements et raisons. Ainsi, ils peuvent servir pour (Dollin et Genardini, 1992; Groz et Masson, 1992; Laye et al., 1992; Lesage et Groz, 1992; Mandagaran, 1992; Pannetier et Mariaud, 1994; Thouret et al., 1994; Brailly et Rennesson, 1995; Turmel et al., 1995; Rennesson, 1996; Potti, 1997; Pannetier, 1998; SÉTRA, 1998; Christory et al., 2000; Apvrille et Martin, 2002; St-Jacques, 2009a; St-Jacques, 2009b; St-Jacques et Brosseau, 2013) :

- créer des ambiances urbaines (places, aires de jeux, autres);

- mettre en valeur un territoire particulier en retenant des couleurs de revêtement en harmonie avec le bâti ou le paysage (Figure 6.6);
- identifier les lieux (entrée de ville, traverse d'agglomération, autres);
- favoriser la cohabitation des différents usagers;
- renforcer l'identité d'une ville (Figure 6.15) ;



Figure 6.15 : Chaussée entière en revêtement bitumineux coloré (Biarritz, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

- renforcer la signalisation;
- faciliter la lecture des espaces (accotement, aire de stationnement, traverse piétonne, terre-plein central, trottoir, autres) (Figures 6.16 et 6.17) ;



Figure 6.16 : Terre-plein en revêtement bitumineux coloré (Bayonne, France)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 6.17 : Accotements en revêtements bitumineux colorés (La Flèche, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

- distinguer des voies de circulation spécifiques (voie cyclable, voie réservée aux autobus, voie de tourne-à-gauche, autres) (Figure 6.18);



Figure 6.18 : Voie de tag en revêtement bitumineux coloré (Anglet, France)

Photographies : Michèle St-Jacques

- réaliser des avertisseurs visuels (proximité d'une zone urbaine, d'une zone scolaire, d'une traverse à niveau, autres) (Figure 5.8);
- baliser des cheminements (voie piétonne, îlot, autres) (Figure 6.19) ;



Figure 6.19 : Délimitation des voies en revêtements bitumineux colorés (Arcachon, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

- ralentir la circulation en milieu résidentiel notamment en réduisant la largeur de la bande roulable (Figure 5.4) ou à l'aide de plateau surélevé (Figure 6.20) ;



Figure 6.20 : Ralentisseur de trafic en revêtement bitumineux coloré (Lausanne, Suisse)

Photographie : Michèle St-Jacques

- améliorer la sécurité des différents usagers par une meilleure lecture et compréhension des différents espaces partagés (Figure 6.21) ;



Figure 6.21 : Piste cyclable en revêtement bitumineux coloré (La Baule, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

- diminuer la sensation de claustrophobie dans un tunnel, soit diminuer la sensation de trou noir perçu par l'utilisateur de la route lorsqu'il pénètre dans un tunnel en améliorant la visibilité de l'ouvrage et en mettant en éveil l'attention du conducteur (Figure 6.22);



Figure 6.22 : Tunnel en revêtement bitumineux coloré (Duplex A86, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

- réduire les dépenses d'éclairage;
- améliorer le sentiment de sécurité des usagers dans un stationnement souterrain (Figure 6.23).



Figure 6.23 : Stationnement souterrain en revêtement bitumineux coloré (Rezé, France)

Photographie : Michèle St-Jacques

6.5 Avantages des revêtements bitumineux colorés

Les avantages des revêtements bitumineux colorés sont nombreux. En plus de ceux mentionnés à la section précédente, d'autres avantages sont associés à l'utilisation des revêtements bitumineux colorés par rapport aux enrobés noirs traditionnels. Parmi ceux-ci, il y a (Lassalle et al., 1980; Lassalle et al., 1981; Herment et Reymonet, 1989; Lesage et Groz, 1992; Mandagaran, 1992; Serres et al., 1993; Besco et Le Mestre, 1994; Thouret et al., 1994; Loustalot et al., 1995; Rennesson, 1996; Moxon, 1997; Arnaudet et al., 1999; Eurovia, 1999; Shell Bitumes, 1999; Brusque, 2000; Shell Bitumes, 2001; Apvrille et Martin, 2002; St-Jacques et Brosseaud, 2002a; St-Jacques, 2009a) :

- une amélioration de la sécurité par une meilleure compréhension des espaces partagés, une plus grande visibilité et lisibilité de la route et de son environnement. Lesage et Groz (1992) précisent que les revêtements bitumineux colorés entraînent une diminution de 25% des accidents. Arnaudet et al. (1999) ajoutent qu'en plus d'une diminution des taux d'accidents, il y a aussi une diminution de la gravité des accidents.
- une meilleure perception la nuit. Selon Brusque (2000), bien que les couleurs apparaissent sombres, l'utilisateur de la route est capable de percevoir, de nuit, la tonalité d'un grand nombre de surfaces colorées.
- une amélioration de la visibilité dans la brume et sous la pluie car les contrastes sont renforcés avec les revêtements bitumineux colorés.

- une fatigue de conduite moindre. Les revêtements bitumineux clairs, offrant une bonne perception des contrastes et de l'environnement, entraînent un confort de conduite et un sentiment d'aise. Selon Lassalle et al. (1981), un teint agréable de la chaussée favorise une conduite détendue.
- une économie d'énergie. Serres et al. (1993) et Lassalle et al. (1980 et 1981) précisent que les revêtements bitumineux colorés permettent de réduire les frais d'éclairage nocturne dans les villes ou d'éclairage continu dans les tunnels. Une chaussée blanche permet d'économiser de 30 à 40% d'électricité au niveau de l'éclairage. Shell Bitumes (1999 et 2001) ajoute que les revêtements bitumineux clairs permettent d'accroître la luminosité dans les rues et de diminuer l'éclairage dans les passages souterrains.
- une meilleure résistance à l'orniérage (Figure 6.24) que les enrobés noirs traditionnels car ils absorbent moins la chaleur. Loustalot et al. (1995) mentionnent qu'en diminuant leur échauffement, les revêtements bitumineux colorés améliorent la stabilité des revêtements dans les huit premiers centimètres. Eurovia (1999) ajoute que l'emploi de revêtements bitumineux colorés permet de diminuer la température du revêtement exposé et de limiter les contraintes thermiques à la surface de l'ouvrage.



Figure 6.24 : Ornières sur revêtement bitumineux coloré vs noir

Photographie : Michèle St-Jacques

6.6 Utilisation dans un cadre de développement durable

St-Jacques (St-Jacques et Brosseaud, 2013) a pris des milliers de relevés de température, à différentes températures (air ambiant), sur différents revêtements bitumineux colorés au cours des 15 dernières années. Elle a démontré que la couleur du revêtement a un impact au niveau de la température de surface du revêtement. Ainsi, l'écart au niveau de la température de surface

entre un revêtement coloré et un enrobé noir traditionnel, sous des conditions d'ensoleillement et de température ambiante de 27°C est de l'ordre de:

- 1,5°C pour un revêtement brun;
- 2,9°C pour un revêtement rouge brique;
- 3,1°C pour un revêtement rouge oxydé;
- 3,6°C pour un revêtement beige;
- 6,2°C pour un revêtement blanc.

Dumais (2014) précise que la chaleur absorbée par la chaussée le jour est réémise durant la nuit et augmente ainsi la température de l'air ambiant. Selon Pomerantz et al. (2000), la température moyenne d'une ville pourrait être réduite de 0,6°C en augmentant l'albédo (la quantité de rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre) de l'ensemble des revêtements routiers de 0,25. Cela correspond à une diminution d'environ 4°C de la température moyenne de surface de l'enrobé.

Dans une aire de développement durable, l'utilisation des revêtements bitumineux colorés permet donc de réduire les îlots de chaleur et d'ainsi améliorer le confort, notamment là où il y a beaucoup de piétons (St-Jacques et Brosseaud, 2013). Les îlots de chaleur augmentent la fréquence, l'intensité et la durée des vagues de chaleur (Anquez et Herlem, 2011).

6.7 Durée de vie

Le CERTU (1997) a donné une estimation de la durée moyenne de service possible pour chaque type de revêtements bitumineux colorés. Cette durée de vie a été établie en fonction du nombre de véhicules lourds, du trafic journalier et du type d'utilisation du revêtement. Cette estimation tient compte de la pérennité mécanique des matériaux, de la conservation des caractéristiques de surface et du maintien de la coloration.

Ainsi, pour une voie de desserte (trafic faible et moins de 150 camions/jour/sens), la durée de vie estimée des différents revêtements bitumineux colorés est (CERTU, 1997):

- supérieure à 20 ans pour un asphalte;
- supérieure à 15 ans pour un enrobé bitumineux;
- supérieure à 10 ans pour un coulis bitumineux, un enrobé coulé à froid (ECF) ou un enduit superficiel d'usure (ESU).

À l’opposé, pour une voie rapide urbaine (trafic très élevé et la présence de 750 à 1 000 camions/jour/sens), la durée de vie estimée est de (CERTU, 1997) :

- 5 à 10 ans pour un asphalte;
- 5 à 8 ans pour un enrobé bitumineux;
- 3 à 6 ans pour un ECF;
- Non recommandé pour les ESU et coulis bitumineux.

Lors des trois premières années suivant la pose des revêtements bitumineux colorés, les revêtements ont tendance à s’éclaircir. La teinte devient un peu plus terne et la brillance s’estompe dû à une oxydation superficielle au contact de l’air, au rayonnement ultraviolet et aux salissures diverses (Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2004).

6.8 Restrictions d’usage

St-Jacques et Brosseaud (2002 et 2013) mentionnent que l’emploi de revêtements bitumineux colorés est fortement déconseillé :

- là où il y a des réparations fréquentes dues à la présence de réseaux souterrains;
- dans les zones fortement circulées où des sollicitations tangentielles entraîneront des dépôts de gomme (Figure 6.25);



Figure 6.25 : Dépôts de gomme sur revêtement bitumineux coloré
Photographie : Michèle St-Jacques

- dans les zones situées à proximité de lieux de pollution ou de risques importants de salissures (marchés, stationnements où les véhicules sont susceptibles de perdre de l'huile);
- dans les zones ne pouvant pas être nettoyées régulièrement.

Les revêtements bitumineux colorés changent de couleur avec le temps, alors les réparations réalisées sur ces revêtements ne sont pas toujours esthétiques (Figure 6.26).



Figure 6.26 : Réparations sur revêtement bitumineux coloré
Photographies : Michèle St-Jacques

6.9 Conclusion

Les revêtements bitumineux colorés sont utilisés depuis plus de trente ans. Ils servent notamment à créer des ambiances urbaines, renforcer l'identité d'une ville, faciliter la lecture des espaces, favoriser la cohabitation des différents usagers de la route, identifier les lieux et réaliser des dispositifs d'alerte visuels. En plus d'améliorer le cadre de vie, ils embellissent le secteur traversé et, surtout, ils permettent de rehausser le sentiment de sécurité des piétons, des cyclistes et des riverains en favorisant la coexistence des différents usagers de la route.

Tout comme les enrobés noirs traditionnels, les revêtements bitumineux colorés sont composés de granulats, de liants (bitumineux ou à base de résines) auxquels il faut ajouter des colorants (pigments minéraux).

Il y a quatre techniques de revêtements bitumineux colorés, soit les enduits superficiels d'usure (ESU); les enrobés coulés à froid (ECF) et coulis bitumineux; les asphaltes colorés; et les enrobés colorés.

Le choix d'une de ces techniques dépend de l'endroit où sera réalisé le revêtement bitumineux coloré. Ainsi, les enduits superficiels d'usure (ESU), avec gravillons colorés de fine dimension (4/6), sont utilisés pour les zones peu circulées. Les enrobés coulés à froid colorés sont utilisés pour les rues et les pistes cyclables. Les coulis bitumineux sont utilisés pour les zones piétonnes. Les asphaltes colorés servent pour les rues et les trottoirs de ville. Les enrobés colorés à chaud sont utilisés pour les routes plus achalandées (St-Jacques et Brosseaud, 2002; Brosseaud et St-Jacques, 2002a; Brosseaud et St-Jacques, 2002b; Brosseaud et St-Jacques, 2004; St-Jacques et Brosseaud, 2008).

Pour chacune de ces techniques, des précautions doivent être prises lors de la fabrication et de la mise en œuvre afin d'empêcher une altération de la teinte du revêtement. Avec les matériaux disponibles, il est possible de réaliser, au Québec, des enrobés bitumineux répondant aux critères de qualité du ministère des Transports du Québec. Un premier enrobé coloré a été mis en place dans la municipalité de Sherbrooke à l'automne 2015.

Les revêtements bitumineux colorés peuvent également être utilisés dans un cadre de développement durable. Du fait qu'ils absorbent moins de chaleur, ils augmentent la résistance à l'orniérage des revêtements et ils peuvent réduire les îlots de chaleur en milieu urbain.

D'autres techniques routières répondent aux critères de développement durable. Ces techniques sont présentées au Chapitre 7.

CHAPITRE 7

TECHNIQUES ROUTIÈRES URBAINES RÉPONDANT AUX CRITÈRES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

7.0 Introduction

C'est au début du XX^e siècle que débutent les techniques de recouvrement des chaussées à l'aide de goudron, bitume, huiles lourdes, traitement de surface et enrobés fabriqués et posés à chaud. Il existe plusieurs types d'enrobés, de granulométries différentes, de classes de bitumes différentes, de proportions granulats/bitume différentes.

Les enrobés bitumineux doivent subir l'accroissement de la circulation tout en résistant aux assauts des intempéries (froid, chaleur, produits déglaçants, pollution diverse) et des déformations des fondations de la chaussée causées par divers facteurs dont les cycles de gel/dégel. Ainsi, les enrobés bitumineux doivent être :

- durables (résistants à l'orniérage, résistants à l'arrachement et résistants à la fissuration);
- sécuritaires (antidérapants, résistants à l'orniérage, confortables au roulement (uni));
- abordables (coût de construction et rendement optimum) (St-Jacques, 2015).

Dans un contexte de développement durable, les preneurs de décisions ont fait de la préservation de l'environnement et de la maîtrise des ressources énergétiques une priorité. Depuis quelques années, les entrepreneurs du Québec et d'ailleurs développent de plus en plus des produits dits « verts », « écologiques » ou « respectueux de l'environnement ». Selon Harlem Brundtland, le développement durable est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Une chaussée durable est donc « une chaussée sûre, efficace et respectueuse de l'environnement, répondant aux exigences des usagers au présent sans compromettre celles des générations futures » (Brosseaud et St-Jacques, 2010; Brosseau et St-Jacques, 2011).

Le développement durable est indispensable pour préserver la planète. Des solutions «vertes» existent dans le domaine routier. Huit procédés et techniques routières sont à même de satisfaire les notions de développement durable. Ils sont présentés dans ce chapitre.

7.1 Identification des procédés et techniques routières

St-Jacques et Brosseaud (2011; 2012a; 2012b) ont identifié huit procédés et techniques routières à même de satisfaire les notions de développement durable. Ces procédés ou techniques sont :

- les revêtements bitumineux colorés (Chapitre 6);
- les enrobés tièdes (Chapitre 8);
- la valorisation des sols en place par des traitements à la chaux et/ou au liant hydraulique des sols argileux;
- la réutilisation des matériaux provenant de la démolition des bâtiments ou des assises de chaussées;
- le recyclage à chaud des matériaux bitumineux anciens;
- les enrobés acoustiques;
- les liants et fluxants « Bio ou Verts »;
- le recyclage en place à froid.

7.1.1 Revêtements bitumineux colorés

Tel que vu au Chapitre 6, les revêtements bitumineux colorés sont utilisés pour créer des ambiances urbaines, renforcer l'identité d'une ville, faciliter la lecture des espaces, favoriser la cohabitation des différents usagers, identifier les lieux et offrir de meilleures conditions de sécurité aux divers usagers de la route.

Parmi les nombreux avantages des revêtements bitumineux, trois satisfont aux critères de développement durable. Ainsi ils permettent (St-Jacques et Brosseaud, 2012a) :

- de diminuer significativement les phénomènes d'orniérage;
- de réduire les îlots de chaleur et d'ainsi améliorer le confort des piétons;
- de constituer un gain important en termes d'éclairage.

7.1.2 Enrobés tièdes

Les enrobés tièdes sont des enrobés qui, au lieu d'être produits à température normale le sont à des températures moindres, soit d'au minimum 20°C, et la mise en place et le compactage se font entre 70 et 120°C plutôt qu'entre 110 et 140°C. Cette diminution de température permet

de réduire les consommations d'énergie lors de la fabrication des enrobés en centrale; les nuisances (fumées, odeurs, gaz) tant à la fabrication qu'à la mise en œuvre; les émanations de vapeurs et par conséquent la production des gaz à effet de serre (GES) (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).

Compte tenu que l'utilisation des enrobés tièdes tend à se répandre rapidement depuis la fin du siècle dernier, cette technique sera vue plus en détails au Chapitre 8.

7.1.3 Valorisation des sols en place

Le traitement en place des sols, par l'usage de la chaux et/ou du ciment, soit seuls, soit en combinaison de sols plus ou moins argileux et fortement humides, permet de réemployer des sols qui n'auraient pu l'être autrement et qu'il aurait fallu remplacer par de nouveaux matériaux.

Cette valorisation des sols améliore très fortement les performances des sols aux niveaux (St-Jacques et Brosseaud, 2012a) :

- de l'aptitude au compactage;
- des propriétés mécaniques à court terme;
- des propriétés mécaniques à long terme.

La valorisation des sols à la chaux ou au liant hydraulique permet aussi l'utilisation de ces sols en assises de chaussées à trafic faible ou moyen (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).

7.1.4 Réutilisation des matériaux

Il est possible de réutiliser les matériaux provenant de la démolition des bâtiments ou des assises de chaussées. Ces matériaux subissent un traitement par concassage criblage puis sont caractérisés par les mêmes essais que les granulats neufs.

Selon leurs propriétés, ils sont utilisés dans la fabrication des matériaux d'assises de chaussées ou sont réservés à des applications en remblais (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).

7.1.5 Recyclage à chaud

Le recyclage à chaud des matériaux bitumineux anciens permet la récupération du bitume (produit pétrolier non renouvelable) et le réemploi des granulats (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).

Les mélanges d'enrobés bitumineux contenant des granulats bitumineux récupérés (GBR) ou des résidus bitumineux doivent répondre aux mêmes critères de performance que les enrobés constitués uniquement de matériaux neufs. Trois seuils de recyclage sont reconnus par les donneurs d'ouvrage, soit (St-Jacques et Brosseaud, 2012a) :

- faible taux (de l'ordre de 10%);
- moyen taux (de l'ordre de 20%);
- fort taux (de l'ordre de 40% ou plus).

7.1.6 Enrobés acoustiques

Boisvert et al. (1996) précisent que l'environnement est composé de sons qui plaisent ou déplaisent. Un son non désiré est considéré comme du bruit. Plus spécifiquement, le bruit routier constitue l'une des formes de pollution les plus répandues. Il dépend de 4 paramètres (St-Jacques et Brosseaud, 2016; St-Jacques et Brosseaud, 2017), soit des paramètres:

- statistiques (débits de circulation et types de véhicules);
- cinématiques (vitesses de circulation et écoulement);
- géométriques (profil en long de la route, nombre de voies et largeur des voies);
- acoustiques (type de revêtement et état d'usure du revêtement routier).

Les bruits de contact entre le pneumatique et la chaussée prédominent tous les autres bruits dès que la vitesse du véhicule dépasse 40-50 km/h pour les véhicules légers et 60-70 km/h pour les véhicules lourds et les autobus (St-Jacques et Brosseaud, 2017).

Il existe des revêtements phoniques pour atténuer le bruit routier. Selon Langlois (2010), un revêtement peut être qualifié d'acoustique ou phonique lorsqu'il permet d'abaisser le niveau de bruit du contact pneus/chaussée d'au moins 3 dB(A).

Le bruit routier est exprimé internationalement en dB(A), soit en décibels de pondération A représentant la sensibilité selon l'oreille humaine. Le bruit correspond à une moyenne

énergétique, et non à une moyenne arithmétique, puisqu'une loi logarithmique régit les additions de décibels. Ainsi :

- si le débit de circulation double, le niveau de bruit est augmenté de 3 dB(A);
- si le débit de circulation triple, le niveau de bruit est augmenté de 5 dB(A);
- si le débit de circulation est multiplié par 10, le niveau de bruit routier est augmenté de 10 dB(A) (St-Jacques, 2015b; Brosseaud et St-Jacques, 2015; St-Jacques et Brosseaud, 2016; St-Jacques et Sicilia, 2019).

Au niveau de l'intensité subjective, une augmentation du bruit de fond existant :

- de 2 dB(A) est nulle;
- de 5 dB(A) est perceptible;
- de 10 dB(A) est perçue comme étant deux fois plus fort;
- de 15 dB(A) est perçue comme étant trois fois plus fort (St-Jacques, 2015b; Brosseaud et St-Jacques, 2015; St-Jacques et Brosseaud, 2016; St-Jacques et Sicilia, 2019).

Les émissions du bruit de roulement sont directement liées à la taille maximale des granulats, à la mise à plat des granulats (texture négative, ou en creux, puisqu'après compactage les granulats ne font pas saillie) et à la porosité du revêtement qui, liée à une discontinuité bien marquée dans la courbe granulométrique, introduit de l'absorption acoustique (Langlois, 2010; Brosseaud et Anfosso-Ledee, 2015; St-Jacques et Brosseaud, 2016; Brosseaud et St-Jacques, 2016b).

Les composantes communes des revêtements acoustiques sont les suivantes (Brosseaud et St-Jacques, 2015; St-Jacques et Brosseaud, 2016):

- Diamètre maximal (D_{max}) des granulats de 10 mm et 6 mm, voire 4 mm;
- Courbe granulométrique fortement discontinue ;
- % passant à 2 mm faible (< 25%);
- % mastic (association fines/bitume) élevé;
- liant visqueux et peu susceptible;
- forte porosité (de l'ordre 20 à 25 %).

Différents revêtements peuvent être utilisés pour diminuer le bruit de roulement pneumatique/chaussée et sa propagation. Parmi ces revêtements, il y a (Brosseaud et St-Jacques, 2015; St-Jacques et Brosseaud, 2016):

- les enrobés très minces (Figure 7.1);



Figure 7.1 : Enrobé très mince
Photographie : Yves Brosseaud

- les enrobés drainants (Figure 7.2);



Figure 7.2 : Enrobé drainant
Photographie : Yves Brosseaud

- et les nouveaux micro ou « nano » revêtements.

Les enrobés très minces (2,5 cm d'épaisseur) et les enrobés acoustiques (épaisseur inférieure à 3 cm) constituent des techniques en conformité avec les concepts du développement durable.

Les enrobés drainants, en plus de drainer l'eau, réduisent la glissance, les projections d'eau, l'éblouissement par temps de pluie et l'émission de bruit de roulement grâce à leur porosité de l'ordre de 20%. Le caractère absorbant de ce type d'enrobé atténue le bruit de 3 à 5 dB(A) lors de sa propagation au-dessus de la surface de roulement (St-Jacques, 2015; St-Jacques et Brosseaud, 2016; Brosseaud et St-Jacques, 2016a; Brosseaud et St-Jacques, 2016b).

Les nouveaux revêtements acoustiques à fine granularité, soit les BBTM 0/4, sont utilisés en France depuis une dizaine d'années (Brosseaud et St-Jacques, 2016). Ces revêtements sont constitués de gravillons de 4 mm de diamètre et de bitume fortement modifié aux polymères. La proportion de vides est élevée, soit de l'ordre de 17%. Les revêtements sont posés en épaisseurs moyennes de 25 mm.

En plus de réduire les nuisances acoustiques d'environ 5 dB(A) par rapport à un revêtement classique, ils permettent aussi (St-Jacques et Brosseaud, 2012a; St-Jacques et Brosseaud, 2017):

- de réduire les quantités de matériaux utilisés;
- d'offrir une adhérence élevée, due aux très nombreux points de contact granulat/pneumatique, réduisant les distances d'arrêt;
- d'améliorer l'uni transversal et longitudinal offrant ainsi un bon confort de roulement.

Plusieurs revêtements acoustiques sont actuellement en développement en France et au Québec. Certains permettent une diminution du bruit allant jusqu'à 6 dB(A) (Brosseaud et St-Jacques, 2015; St-Jacques et Brosseaud, 2016; Brosseaud et St-Jacques, 2016b; St-Jacques et Brosseaud, 2017).

Bien que ces enrobés soient utilisés en Europe, et plus particulièrement en France, depuis près de 20 ans, aucun enrobé phonique n'a été mis en place au cours des dix dernières années au Québec (Brosseaud et St-Jacques, 2016).

7.1.7 Liants végétaux

Les liants végétaux et les fluxants végétaux sont utilisés pour limiter l'usage des matériaux non renouvelables issus de la chimie du pétrole.

Les liants végétaux, notamment à base d'huile de tournesol ou de colza, sont utilisés en remplacement du bitume dans la fabrication des enrobés (Figure 7.3). Leur emploi reste limité, pour des raisons économiques, et des progrès sont nécessaires pour améliorer leur comportement et leur durabilité (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).



Figure 7.3 : Liant végétal

Photographies : Yves Brosseaud

Les fluxants végétaux remplacent les fluxants pétrochimiques dans les enduits superficiels. Les fluxants ont pour but de ramollir le liant (bitume) pendant le stockage et la mise en œuvre. L'usage de fluxants végétaux, au dosage de 3 à 5 % dans le bitume pour épandage à chaud, se généralise en France car les fluxants permettent de faciliter les applications et d'améliorer les comportements (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).

7.1.8 Recyclage en place à froid

La technique de recyclage en place à froid consiste à retraiter en place l'ancienne chaussée par l'apport d'un liant à froid, composé d'une émulsion ou de mousse de bitume, d'un ciment ou d'un liant hydraulique routier, seul ou en combinaison (Figure 7.4) (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).



Figure 7.4 : Recyclage en place à froid (Nantes, France)

Photographies : Yves Brosseaud

Il faut fraiser sur l'épaisseur désirée (15 à 30 cm), malaxer, puis compacter cette nouvelle assise. Une couche de roulement en matériaux bitumeux est ensuite réalisée (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).

7.2 Développement durable dans les chaussées urbaines québécoises

Une étude réalisée par St-Jacques et Brosseaud (2011; 2012a; 2012b) a montré qu'il y a une tendance significative, autant en France qu'au Québec, d'utiliser les différentes techniques routières répondant aux critères de développement durable.

Ainsi, des 40 Mt d'enrobés produites en France en 2009, 1,7 Mt contenait des matériaux recyclés, soit 4% des enrobés. Au Québec, sur les routes appartenant au ministère des Transports (MTQ), 25% du tonnage d'enrobés produits en 2009 contenaient du matériau recyclé, soit 1 Mt sur les 4 Mt d'enrobés produites en 2009. En 2010, c'est 1 268 315 t d'enrobés recyclés qui ont été produites, soit 29% du tonnage total. Depuis 2008, c'est la norme au MTQ d'utiliser plus de 20% d'enrobés recyclés (St-Jacques et Brosseaud, 2012a).

Le MTQ a également produit 60 000 tonnes d'enrobés tièdes en 2009 (St-Jacques et Brosseaud, 2012a). Des 4 000 000 tonnes d'enrobés bitumineux produites annuellement, le MTQ vise une utilisation de 5% d'enrobés tièdes (St-Jacques et Brosseaud, 2012a). Le ministère des Transports du Québec s'est d'ailleurs doté d'une stratégie de développement durable qui précise les objectifs qu'il poursuit en termes de gestion écoresponsable et d'innovation (Ministère des Transports du Québec, 2009). Aucun matériau n'est jeté sur les chantiers du MTQ. Tout reste sur place et est réutilisé.

St-Jacques (St-Jacques et Brosseau, 2012a; St-Jacques et Brosseau, 2012b; St-Jacques et Brosseau, 2011) a vérifié l'utilisation, en milieu urbain au Québec, des différentes techniques routières répondant aux critères de développement durable. Les dix plus importantes municipalités du Québec, en termes de population, ont coopéré et accepté de fournir leurs statistiques pour l'année 2010. Ces municipalités sont Montréal (1 667 000 habitants), Québec (508 349 habitants), Laval (395 814 habitants), Gatineau (255 000 habitants), Longueuil (232 516 habitants), Sherbrooke (155 583 habitants), Saguenay (143 650 habitants), Lévis (136 066 habitants), Trois-Rivières (126 323 habitants) et Terrebonne (101 558 habitants).

Selon les données obtenues, plus de 50% des enrobés des 10 principales municipalités du Québec sont dits « verts ». Excluant Montréal, dans les dix principales municipalités du Québec, ont été produites en 2010 (St-Jacques et Brosseau, 2012b) :

- 445 000 tonnes d'enrobés;
- 104 500 tonnes d'enrobés recyclés à chaud moyen taux (20%);
- 113 500 tonnes d'enrobés recyclés à chaud faible taux (10%);
- 12 100 tonnes d'enrobés tièdes (représentant 2,7% de l'ensemble des 445 000 tonnes d'enrobés produits dans ces municipalités).

Pratiquement toutes ces municipalités récupèrent les matériaux provenant de la démolition des assises de chaussées. Ainsi, 377 000 tonnes de matériaux ont été réutilisées en 2010 (St-Jacques et Brosseau, 2012b).

7.3 Conclusion

Il y a une tendance significative, autant en France qu'au Québec, à utiliser les différentes techniques routières répondant aux critères de développement durable.

Au Québec, autant le ministère des Transports que les principales municipalités ont pris un virage « vert » au niveau de leurs chaussées. En 2010, plus de la moitié (51,7%) des enrobés des dix principales municipalités du Québec étaient considérés « verts ».

Les techniques qui répondent aux critères de développement durable sont les revêtements bitumineux colorés (Chapitre 6); la valorisation des sols en place par des traitements à la chaux et/ou au liant hydraulique des sols argileux; la réutilisation des matériaux provenant de la démolition des bâtiments ou des assises de chaussées; le recyclage à chaud des matériaux

bitumineux anciens; les enrobés acoustiques; les liants et fluxants végétaux; le recyclage en place à froid; et les enrobés tièdes.

Compte tenu que l'utilisation des enrobés tièdes tend à se répandre rapidement depuis la fin des années 1990, cette technique fait l'objet du Chapitre 8.

CHAPITRE 8

ENROBÉS TIÈDES

8.0 Introduction

Les enrobés bitumineux à chaud conventionnels sont composés de matériaux granulaires liés par une proportion optimale de bitume. La température du bitume influence grandement son comportement. À basse température, il s'apparente à un solide fragile tandis qu'à haute température, il s'écoule comme un liquide visqueux. Entre ces deux extrêmes, le bitume se comporte plutôt comme un solide visqueux et élastique. L'opération d'enrobage consiste à mélanger uniformément le bitume et les granulats, chauffés au préalable. Une attention est portée lors de la formulation afin que les granulats soient entièrement recouverts d'un film de bitume. L'enrobé est ensuite transporté, appliqué et compacté à chaud en une couche d'épaisseur uniforme afin de créer un revêtement de chaussée (St-Jacques, 2015).

Les enrobés tièdes sont des enrobés qui sont produits à des températures moindres, soit au minimum 20°C au Québec, 30°C en France, mais pouvant atteindre jusqu'à 60°C de moins (St-Jacques et al., 2013). Ainsi, le malaxage se fait entre 90 et 140°C plutôt qu'entre 130 et 170°C (180°C dans le cas de la France). Et la mise en place et compactage se fait entre 70 et 120°C plutôt qu'entre 110 et 140°C. Ces techniques font appel à diverses méthodes (additifs dans le liant, ajout d'eau avec ou sans pression conduisant à un moussage du bitume, enrobage séquentiel avec deux grades de bitume) permettant de conserver la maniabilité des produits lors de l'épandage et du compactage, et d'obtenir les propriétés finales des enrobés, identiques à celles des enrobés à chaud conventionnels (D'Angelo et al., 2008; Paradis, 2009; St-Jacques et Brosseau, 2012a).

L'économie d'énergie subséquente est donc appréciable à l'échelle des millions de tonnes d'enrobés produites.

8.1 Début des enrobés tièdes

Les premiers essais d'enrobés tièdes ont été réalisés entre 1995 et 1999 en Allemagne et en Norvège. C'est en 1999 que l'Allemagne a réalisé la première route publique en enrobés bitumineux tièdes en utilisant le système Aspha-min (Croteau et Tessier, 2008; Paquin, 2011a; Yu, Williams et Buss, 2012; St-Jacques et al., 2013).

Les premiers essais en Amérique du Nord ont débuté en 2004 pour les États-Unis et en 2006 pour le Canada (Tighe et al., 2008). Selon Paquin (2011a), les enrobés tièdes sont arrivés au Québec en 2005. Depuis lors, de nombreux entrepreneurs et donneurs d'ouvrages ont été amenés à utiliser, voire à tester, les enrobés tièdes dans le contexte québécois.

Les enrobés bitumineux tièdes sont désormais présents sur tous les continents (St-Jacques et al., 2013).

8.2 Catégories d'enrobés tièdes

Selon Bueche (2011), il existe trois catégories d'enrobés bitumineux tièdes, soit les catégories A, B et C. Chaque catégorie rassemble des formules dont le mode d'action, en vue de diminuer les températures de malaxage et de mise en œuvre, est similaire.

8.2.1 Catégorie A : Modification de la séquence d'enrobage

Cette catégorie comprend les techniques d'enrobés tièdes qui ne nécessitent aucun additif, aucun ajout d'eau et qui n'impliquent aucune modification des éléments du mélange. Le principe est de réaliser l'enrobage des granulats en plusieurs étapes, c'est-à-dire d'effectuer un enrobage séquencé. Généralement, il y a deux types de bitume utilisés avec des viscosités différentes. Les granulats sont tout d'abord enrobés avec un bitume de viscosité faible, puis ils sont enrobés avec un bitume de viscosité plus élevée, pour obtenir la viscosité désirée au final. Bueche (2011) mentionne que la baisse de température observée par cette technique se situe entre 20 et 30°C par rapport aux températures observées pour les enrobés bitumineux à chaud. Le principal avantage de cette technique est qu'il n'y a presque pas de modification à réaliser à la centrale d'enrobage.

8.2.2 Catégorie B : Introduction d'eau ou maîtrise de la teneur en eau

Les techniques de la catégorie B visent la modification de la viscosité des bitumes par l'ajout d'eau. Certaines de ces techniques se basent sur l'injection d'eau dans le malaxeur, d'autres sur l'injection, préalable au malaxage, d'eau dans le bitume et finalement d'autres encore sur l'introduction, lors du malaxage, de granulats humides. Quelle que soit la technique utilisée dans cette catégorie, leur principe repose sur le fait que l'eau chauffée dans le malaxeur passe en phase vapeur et augmente alors de volume, créant ainsi une mousse de bitume (Bueche,

2011). Ce bitume moussé facilite l'enrobage et le rend plus homogène. Les baisses de température observées avec cette catégorie sont entre 20 et 50°C par rapport aux températures observées avec les enrobés bitumineux à chaud.

8.2.3 Catégorie C : Modification de la chimie

Les techniques de modification de la chimie sont multiples et se différencient par la nature de l'additif qui peut être un composé organique ou un adjuvant chimique (Bueche, 2011).

8.3 Formules commerciales d'enrobés tièdes

Il existe plusieurs formules commerciales d'enrobés tièdes. Les propriétés des enrobés tièdes ont un effet significatif sur la résistance à la fissuration, l'humidité et l'orniérage des enrobés. Par conséquent, la technologie appropriée doit être choisie pour produire le résultat désiré et les essais de performance semblent être une composante essentielle dans la conception d'un enrobé tiède (Hill, 2011).

D'un pays à l'autre, d'une administration à l'autre, le choix des différentes formules commerciales n'est pas uniforme. Les principales formules existantes sur le marché font partie des catégories B et C. Selon Zaumanis, Jansen et Smirnovs (2011) et Paquin (2011a), les différentes formules sont regroupées en fonction de la technique employée, soit :

- le moussage du bitume (eau dosée, eau avec expansion améliorée, eau avec additifs chimiques);
- l'ajout d'additifs organiques (cires);
- l'ajout d'additifs chimiques (dopes d'adhésivité);
- les liants végétaux ou autres.

St-Jacques et al. (2013) ont réussi, à partir de l'analyse de 224 documents et la collaboration de 14 donneurs d'ouvrages, entrepreneurs ou fournisseurs de bitume, à faire une synthèse montrant, pour chaque formule identifiée, quel principe est à la base de la technique et dans quels pays cette formule a été utilisée. Le Tableau 8.1 est tiré de cette synthèse.

Tableau 8.1 : Formules commerciales d'enrobés tièdes selon le pays

| Formule | Technique | Compagnie | Pays |
|----------------------------|------------------------|--|---|
| 3E LT ou Ecoflex | Additif organique | Colas | France |
| Advera | Moussage par additif | PQ corporation | USA, Europe (non précisé) |
| Aqua-Black® | Moussage | Maxam Equipment | USA, Canada |
| Asphaltan-B | Additif organique | Romonta GmbH | Allemagne |
| Aspha-min | Moussage par additif | Eurovia enregistré par The Hubbard Group | Allemagne, USA, France, Canada |
| Cecabase | Additif chimique | Société Ceca SA, groupe Arkema | Europe (non précisé), Canada |
| CWM | Additif chimique | Chemoran | Canada |
| Double Barrel Green | Moussage par injection | Astec Industries | USA |
| Ecoflex | Additif chimique | SCREG | Europe |
| Ecolastic | Additif chimique | SCREG | Europe |
| Ecomac | Additif (inconnu) | Screg | France |
| Ecomat (sans additif) | Moussage | Colas | Canada, USA |
| Ecomat (avec additif) | Additif chimique | Colas | Canada, USA |
| Etima® | Additif (inconnu) | Malet | France |
| Evotherm | Additif chimique | MeadWestVaco | France, USA, Canada, Chine, Afrique du Sud |
| Evotherm 3G | Additif chimique | MeadWestVaco | Canada, USA |
| Evotherm DAT | Additif chimique | MeadWestVaco | Canada, USA |
| Greenflux | Bitume fluxé | TOTAL Bitume France | Europe (non précisé) |
| Hypertherm® | Additif chimique | Coco Paving, Inc. | Canada, USA |
| Lea (Low Emission Asphalt) | Moussage | Asphalt Materials Inc. | Espagne, France, Italie |
| LEAB® | Moussage | BAM | Pays-Bas |
| Leadcap® | Additif organique | Kumho Petrochemical | Chine, Corée du Sud, USA, Italie, Japon, Portugal, Thaïlande |
| Licomont BS 100 or Sübit | Additif organique | Clariant | Allemagne |
| Low-Energy Asphalt® | Moussage | Fairco of Zozay | Canada, Espagne, USA, France, Italie, Nouvelle-Zélande |
| LT Asphalt | Moussage | Nynas | Italie, Pays-Bas |
| Rediset WMX | Additif chimique | Akzo Nobel | USA |
| Revix | Additif chimique | Mathy-Ergon | USA |
| Sasobit | Additif organique | Sasol Wax Ltd. | Allemagne, Afrique du Sud, Australie, Autriche, Belgique, Chine, Danemark, USA, France, Hongrie, Italie, Lituanie, Macau, Malaisie, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Royaume-Uni, Russie, Slovénie, Suède, Suisse, Tchéquie, Canada |
| Sonne warmix | Additif organique | Sonneborn inc. | USA, Canada |
| Thiopave® | Additif combiné | Shell | USA |
| TLA-X® | Additif organique | Trinidad and Tobago Ltd | USA |
| Ultrafoam GX® | Moussage | Gencor Industries | USA, Canada |
| WAM-Foam | Moussage | Shell | France, Norvège |
| Warm Mix Asphalt System | Moussage | Terex® Roadbuilding | USA |

Sources : St-Jacques et al., 2013; Chowdhury et Button, 2008; D'Angelo et al., 2008; Jamshidi, Hamzah et You, 2013; Vuong et al., 2012; Paquin, 2012b; Chaignon, 2010; Jamshidi, Hamzah et You, 2013.

En comparant les différents additifs les uns avec les autres, il est possible d'observer que les enrobés tièdes réalisés avec les techniques Advera, Aspha-min, Evotherm et Sasobit demandent

peu de modifications à l'usine d'enrobage. Par contre, les procédés de moussage représentent les technologies ayant un coût initial élevé (St-Jacques et al., 2013).

8.4 Avantages de l'utilisation des enrobés tièdes

Les enrobés tièdes permettent de réduire les dépenses énergétiques de chauffage dans une plage de 25 à 45%, et les émissions de fumée. En effet, selon MeadWestVaco (2010), avec l'utilisation de l'additif Evotherm, une réduction significative des réductions de fumée a été observée. De plus, selon Mallick et Bergendahl (2009), la température est le seul facteur qui influence l'émission de fumée et la production de CO₂. La réduction des émissions lors de la mise en place de l'enrobé tiède est due principalement à la réduction de la consommation de carburant. Les Figures 8.1 et 8.2 montrent la différence, au niveau des émissions de fumée, entre les enrobés tièdes et les enrobés à chaud traditionnels.



Figure 8.1 : Fumée provenant d'un enrobé à chaud traditionnel

Photographie : Sébastien Drainville



Chargement d'un camion en enrobé chaud à 160°C

Chargement d'un camion en enrobé tiède à 120°C

Figure 8.2 : Fumée provenant des différents enrobés

Photographies : Yves Brosseau

Plusieurs articles et recherches démontrent que la quantité d'émissions de gaz en utilisant de l'enrobé tiède est nettement diminuée et que ceci contribue à la diminution de l'inquiétude des travailleurs en comparaison avec l'enrobé à chaud conventionnel. Il importe cependant de noter que les conséquences de l'ajout des différents additifs sur la santé des travailleurs ne sont actuellement pas présentées dans la littérature (St-Jacques et al, 2013).

L'utilisation des enrobés tièdes permettrait de réduire d'environ 30% la production de dioxyde de carbone, d'environ 30% la production de monoxyde de carbone et d'environ 35% la production de dioxyde d'azote dans les meilleures conditions. Il est cependant important de noter qu'avec l'ajout des différents additifs dans les enrobés tièdes, une augmentation des émissions de dioxyde de soufre et des alcanes est à prévoir, limitant ainsi les impacts positifs (St-Jacques et al., 2013).

Les opérations de mise en place sont également un peu simplifiées avec les enrobés tièdes (possibilité d'attente des camions, joints non visibles) (St-Jacques et al., 2013).

8.5 Performance des enrobés tièdes en chantiers

Bien que les retours d'expériences commencent à se faire de plus en plus nombreux, les performances à long terme sont encore mal connues (D'Angelo et al, 2008). Il y a toutefois consensus, en Europe et aux États-Unis, sur le fait que les enrobés tièdes doivent performer aussi bien, voire mieux, que les enrobés conventionnels (Philippot, 2010).

De très nombreux chantiers urbains d'enrobés tièdes ont été réalisés avec satisfaction, en France, aux niveaux de la conservation des performances et de la facilité de compactage. Les tonnages restent toutefois faibles. Les enrobés tièdes ont un coût légèrement supérieur aux enrobés à chaud (St-Jacques et Brosseaud, 2012a). Le tonnage d'enrobés tièdes a diminué en France en 2010 compte tenu des moyens financiers (St-Jacques et Brosseaud, 2011).

La revue de littérature réalisée par St-Jacques et al. (2013) a permis d'avoir une idée sur la performance des enrobés tièdes en chantiers. Ainsi, en Californie, un essai a été réalisé in situ afin de comparer l'enrobé à chaud conventionnel et l'enrobé tiède. Les résultats ont démontré que la résistance à l'orniérage était acceptable dans le cas des enrobés tièdes et des enrobés à chaud. Les deux enrobés ont aussi présenté un degré de compaction similaire pour la mise en

place sans nécessiter un effort de compaction supplémentaire (Wielinski et al., 2009; Diefenderfer et Clark, 2011).

En France, Cofiroute a mis en place 2 500 tonnes d'enrobés tièdes de type Aspha-min sur l'autoroute A81 en 2003. Bien que les résultats aient été concluants au niveau des critères de performance, l'expérience n'a cependant pas été poursuivie car les coûts excédaient les bénéfices pour l'opérateur (D'Angelo et al., 2008).

En Norvège, suite au pavage de 28 sections de route en sept ans (17 800 tonnes d'enrobés tièdes), l'administration des routes publiques norvégiennes (NPRA) a évalué que ces sections de route ont fourni des performances globalement satisfaisantes (D'Angelo et al., 2008).

En Allemagne, sept sections de routes ont été réalisées en enrobés tièdes. À l'exception des sections revêtues à l'aide du produit Sübit, toutes les sections sont caractérisées par des performances égales ou supérieures à celles des sections de contrôle en enrobés traditionnels (D'Angelo et al., 2008).

La Chine réalise aussi plusieurs projets afin de connaître la performance en situation réelle des enrobés tièdes dont la plus grande partie est à base d'Evotherm (Cai et al., 2012).

8.6 Performance des enrobés tièdes en laboratoires

En plus des performances évaluées en chantiers, certains évaluent les performances des enrobés tièdes en laboratoire. Ainsi, Liu et al. (2011) ont testé en laboratoire des enrobés tièdes utilisant la technique Sasobit dans des conditions similaires à celles observées en Alaska. Les résultats de leur étude montrent que cette formule offre des résultats satisfaisants et une meilleure résistance à l'orniérage.

St-Jacques (St-Jacques et al., 2013) a également réalisé, en laboratoire, des essais de détermination du module complexe en compression, de mesure de la résistance à la fissuration thermique (TSRST) et d'orniérage sur des échantillons d'enrobé tiède posés sur une route importante du réseau du ministère des Transports du Québec. Il s'agit d'un enrobé tiède de type ESG-10 avec Evotherm 3G et classe de bitume 64-34. L'enrobé tiède testé en laboratoire a très bien performé. Les éprouvettes se sont fissurées à une température moyenne de $-37,5^{\circ}\text{C}$, ce qui respecte la température minimale de la classe de bitume utilisée, soit PG 64-34. Au niveau de l'orniérage, les pourcentages moyens de profondeur d'ornière mesurés ont été de 3,47% à 1 000

cycles; 4,45% à 3 000 cycles; 5,38% à 10 000 cycles et 6,27% à 30 000 cycles. Ces pourcentages sont bien inférieurs au pourcentage maximum de déformation permis par la Norme.

8.6.1 Essai de détermination du module complexe (méthode d'essai LC 26-700)

L'essai de module complexe se veut la modélisation du passage d'un véhicule de manière répétée. Il analyse le comportement d'un matériau sous chargement sinusoïdal cyclique en traction-contraction. La compression est présente au haut de la couche d'enrobé, tandis que la tension est au bas lors du passage de la roue (Figure 8.3). Le module complexe (E^*) décrit la rigidité d'un matériau viscoélastique sous chargement cyclique. Il est exprimé en MPa. Il est déterminé à différentes fréquences (0,1 à 10 Hz) et températures (-20 à 40°C), sous chargement cyclique à petite déformation afin de déterminer le comportement viscoélastique linéaire de l'enrobé (Doucet, 2013).



Figure 8.3 : Essai de module complexe
Photographie : Michèle St-Jacques

8.6.2 Essai de résistance à la fissuration thermique (TSRST) (norme AASHTO TP10-93)

L'essai de résistance à la fissuration thermique (aussi appelé retrait thermique empêché ou Thermal Stress Restrained Specimen Test) permet d'étudier le comportement et la performance des enrobés en fonction de la température (Direction du laboratoire des chaussées, 2004). Plus spécifiquement, il permet de déterminer la résistance à la fissuration à basse température. Dans l'enceinte à température contrôlée, la température a été abaissée selon un taux de refroidissement constant de 10°C à l'heure tout en restreignant le mouvement de l'échantillon

(Figure 8.4). L'évolution de la température de l'échantillon et la tension dans l'enrobé ont été enregistrées du début du processus jusqu'à la rupture de l'échantillon.



Figure 8.4 : Essai TSRST

Photographie : Michèle St-Jacques

8.6.3 Essai d'orniérage (méthode d'essai LC 26-410)

L'essai d'orniérage permet de déterminer le comportement à la déformation d'un enrobé bitumineux soumis à une charge roulante. Dans cet essai, deux plaques d'enrobés de 50 mm d'épaisseur, pour un enrobé de type ESG-10, subissent le passage répété d'une charge roulante de 5 000 N afin de déterminer sa résistance à l'orniérage de fluage (Figure 8.5). L'essai est réalisé à une température constante de 60°C. La profondeur moyenne des ornières, soit de la déformation, dans les deux plaques est relevée à 30, 100, 300, 1 000, 3 000, 10 000 et 30 000 cycles (passages).

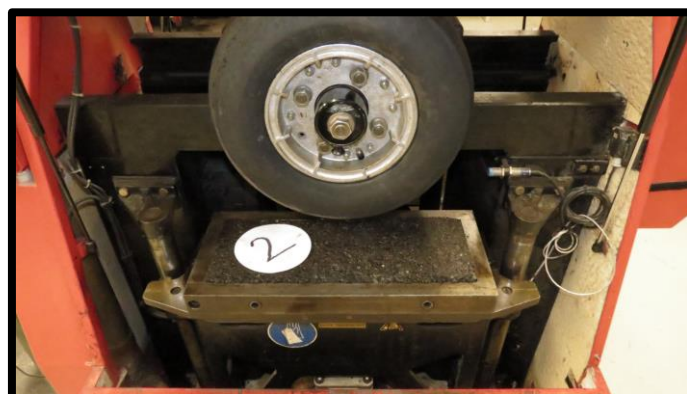


Figure 8.5 : Essai d'orniérage

Photographie : Juan Mauricio Rios

8.7 Conclusion

Les enrobés tièdes sont des enrobés qui sont produits à des températures moindres (minimum 20°C de moins pour le Québec et 30°C de moins pour la France) que les enrobés à chaud traditionnels au niveau du malaxage et du compactage. Pour ce faire, divers produits (composés organiques, adjuvants, eau) doivent être ajoutés au mélange bitumineux afin d'obtenir les mêmes propriétés finales de l'enrobé.

Les premiers enrobés tièdes ont été développés en Allemagne et en Norvège à la fin des années 1990. Ils sont arrivés au Québec en 2005. Ils sont maintenant présents sur tous les continents.

Il existe trois catégories d'enrobés tièdes. La catégorie A ne nécessite aucun additif ni apport d'eau. L'enrobage des granulats se fait toutefois de façon séquentielle avec deux types de bitume. La catégorie B vise la modification de la viscosité du bitume par ajout d'eau. La catégorie C nécessite l'ajout d'un additif qui peut être un adjuvant chimique ou un composé organique. Il existait 34 formules commerciales différentes en 2013. Les principales font partie des catégories B et C. Les enrobés tièdes réalisés selon les techniques Advera, Aspha-min, Evotherm et Sasobit demandent peu de modifications à l'usine d'enrobage. Alors que les techniques avec un procédé de moussage de bitume ont un coût initial élevé.

Les enrobés tièdes permettent de réduire les dépenses énergétiques de chauffage dans une proportion de 25 à 45% ainsi que les émissions de fumée. L'impact de l'ajout des différents additifs sur la santé des travailleurs ne semble toutefois pas avoir été analysé encore.

Selon la littérature, la performance des enrobés tièdes évaluée en chantiers et en laboratoires donne de bons résultats. L'enrobé tiède de type ESG-10 avec Evotherm 3G et classe de bitume 64-34 (bitume performant entre -34°C et 64°C), posé sur une route importante du réseau du ministère des Transports du Québec (MTQ), a très bien performé lors des essais de détermination du module complexe en compression (modélisation du passage d'un véhicule de manière répétée), de mesure de la résistance à la fissuration thermique (résistance à la fissuration à basse température) et d'orniérage (déformation d'un enrobé soumis à une charge roulante à haute température) réalisés en laboratoire à l'École de technologie supérieure (ÉTS). Les enrobés tièdes constituent donc une solution intéressante pour répondre aux critères de développement durable.

Les gestionnaires des Villes ont maintenant accès à différents dispositifs physiques (Chapitres 2, 3, 4 et 5) pour réaliser des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières (Chapitres 6, 7 et 8) urbaines répondant à des critères de développement durable.

En plus de ces dispositifs et techniques, ils peuvent mettre en place certaines mesures pour favoriser le transport urbain sur leur territoire. Ces mesures concernent le transport actif (Chapitre 9), soit les déplacements sécuritaires des piétons et des cyclistes; le transport collectif (Chapitre 10) dans un objectif de développement durable; et le camionnage (Chapitre 11). C'est ce qui fait l'objet de la quatrième partie de la thèse.

PARTIE IV

MESURES POUR FAVORISER LE TRANSPORT URBAIN

CHAPITRE 9 : TRANSPORT ACTIF

CHAPITRE 10 : TRANSPORT COLLECTIF

CHAPITRE 11 : CAMIONNAGE

La deuxième partie de la thèse a montré que le concepteur routier doit créer des aménagements routiers conviviaux qui améliorent la sécurité routière et qui permettent à chaque utilisateur du réseau (piéton, cycliste, automobiliste, camionneur ou chauffeur de transport en commun) d'y trouver sa place.

Les preneurs de décisions des grandes villes du monde font maintenant de la préservation de l'environnement et de la maîtrise des ressources énergétiques une priorité. La troisième partie de la thèse a donc traité des techniques routières urbaines qui répondent à des critères de développement durable. Parmi ces techniques, il y a les revêtements bitumineux colorés qui, en plus de créer des ambiances urbaines, renforcer l'identité d'une ville et faciliter la lecture des espaces, favorisent la cohabitation des différents usagers de la route. Les revêtements colorés permettent de rehausser le sentiment de sécurité des piétons, des cyclistes et des riverains en favorisant la coexistence des différents usagers de la route.

Le concepteur routier et les décideurs des villes ont donc des outils pour créer des aménagements qui favorisent la coexistence des différents usagers de la route. Ils doivent maintenant trouver des moyens de « remplir » ces espaces réservés aux piétons, cyclistes ou transport en commun, en incitant les automobilistes à délaissé leur véhicule au profit d'un mode de transport actif ou collectif. Parallèlement à cela, ils doivent trouver des solutions pour réduire les problèmes liés au camionnage en milieu urbain.

La quatrième et dernière partie de la thèse traite donc des mesures qui peuvent être mises en place pour favoriser le transport urbain dans les villes.

Ces mesures sont inspirées d'observations et d'expériences étrangères.

CHAPITRE 9

TRANSPORT ACTIF

9.0 Introduction

Le transport urbain concerne tous les déplacements effectués dans une ville. Peu importe le mode utilisé. Bien sûr, il y a l'automobile, le camionnage, le transport en commun traditionnel (autobus, tramway et métro). Mais il y a aussi le transport actif (piétons et cyclistes). L'amélioration de la sécurité routière en milieu urbain passe par une politique de modération de la circulation (vitesse et débit), un meilleur équilibre entre les différents modes de transport et un meilleur partage de l'espace au bénéfice de la vie locale (RGRA, 1995).

Afin de favoriser le transport actif dans les villes, il faut que chacun y trouve sa place et s'y sente en sécurité. Il faut donc réaménager les espaces de circulation pour les rendre plus conviviaux. Selon RGRA (1995), « ce n'est plus à la ville de s'adapter à l'automobile, mais à la circulation routière de s'intégrer dans la vie de la cité ». Les matériaux peuvent contribuer à organiser l'espace (CETUR, 1990a). Ils permettent de créer des ambiances urbaines et faciliter la lecture des espaces. Le but ne doit pas juste être de mettre en place des conditions favorisant la marche et le vélo mais plutôt de concevoir un espace public vivant et accueillant occupé par une grande diversité de groupes sociaux (Gehl, 2012).

Afin d'obtenir un meilleur équilibre des divers modes de déplacement, divers aménagements peuvent être réalisés et diverses mesures peuvent être préconisées pour favoriser le transport actif. Parmi ces mesures, il y a l'implantation de traverses piétonnes de type Barnes Dance, qui permettent la traversée sécuritaire d'un plus grand nombre de piétons aux carrefours urbains très achalandés, l'aménagement de voies piétonnes invitantes et l'aménagement de voies cyclables fonctionnelles pour faire du vélo un mode de transport utilitaire.

9.1 Implantation de traverses piétonnes de type Barnes Dance

En 1982, St-Jacques a participé à une étude sur le respect des traverses piétonnes à proximité du Campus de l'Université de Montréal (Annexe II). Cette étude a démontré que les conducteurs respectent très peu les piétons même si ces derniers ont la priorité.

La traverse de piétons affecte le fonctionnement d'une intersection, surtout lorsque le nombre de piétons est très élevé. Parfois, il convient de s'inspirer des expériences étrangères afin de résoudre certains problèmes. Parmi ces expériences, il y a l'aménagement de traverses piétonnes multidirectionnelles de type Barnes Dance.

Les traverses de type Barnes Dance donnent la priorité au passage multidirectionnel des piétons pendant une phase précise du feu de circulation. Pendant cette phase, le passage des piétons est permis dans toutes les directions, incluant les diagonales. Les véhicules motorisés sont alors immobilisés par des feux rouges à toutes les approches. La Figure 9.1 indique les mouvements piétonniers autorisés lors de la phase « Barnes Dance ». Un marquage au sol est parfois utilisé pour guider les piétons et leur indiquer qu'ils peuvent traverser selon la diagonale (Figure 9.2).

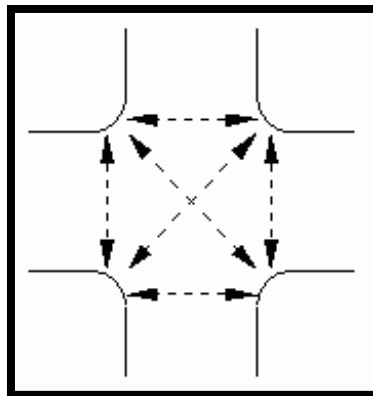


Figure 9.1 : Mouvements piétonniers permis lors de la phase Barnes Dance

Source : Tirée de Drainville et St-Jacques, 2002



Figure 9.2 : Marquage pour la phase Barnes Dance

Source : www.washingtonpost.com, 2016

Le terme Barnes Dance fait référence à M. Henry A. Barnes, commissaire à la circulation pour les villes de Denver et New York (USA) dans les années 1950. C'est lui qui a instauré l'utilisation d'une phase prioritaire où les piétons pouvaient traverser dans toutes les directions, incluant les diagonales, entre 1947 et 1955.

Ce type d'aménagement existe actuellement à (Drainville et St-Jacques, 2002; Drainville et St-Jacques, 2003; Crevier et St-Jacques, 2007) :

- New-York, Denver, Baltimore, Miami, Chicago, Pittsburgh, Washington, Kansas City, Beverly Hills et Boston aux États-Unis;
- Auckland en Nouvelle-Zélande;
- Adelaïde, Brisbane, Darwin, Sydney et Melbourne en Australie;
- Tokyo au Japon (Figure 9.3);



Figure 9.3 : Traverse de type Barnes Dance à Tokyo

Source : Crevier et St-Jacques, 2007

- Jérusalem;
- Trondheim en Norvège;
- Vancouver, Toronto et Québec au Canada.

9.1.1 Application à Montréal – Étude de cas

En 2002, St-Jacques et Drainville (2002 et 2003) ont vérifié la faisabilité d'implanter ce type de traverse à Montréal afin d'améliorer la sécurité des piétons. L'intersection analysée est le carrefour des rues Peel et Ste-Catherine au centre-ville de Montréal.

Le carrefour Peel et Sainte-Catherine est un des carrefours les plus achalandés du centre-ville de Montréal avec plus de 9 000 piétons et 1 500 véhicules à l'heure de pointe du midi, soit de 12h15 à 13h15 (Drainville et St-Jacques, 2002; Drainville et St-Jacques, 2003). Durant la période du dîner, des milliers de personnes sortent de leur bureau et les véhicules peinent à faire leur manœuvre de virage à droite dû au passage continu des piétons (Figure 9.4). Il y a environ 6 fois plus de piétons que de véhicules à ce moment de la journée. La rue Sainte-Catherine est l'artère commerciale la plus importante de Montréal.



Figure 9.4 : Conflits entre les piétons et les véhicules

Photographie : Sébastien Drainville

Dans certains secteurs de Montréal, dont au centre-ville, le cycle des feux de circulation est limité à 70 secondes. Le temps de vert réservé aux piétons est donc relativement court. La traversée des piétons doit se faire en deux temps pour ceux qui veulent atteindre le coin opposé du carrefour, soit, par exemple, la chaussée Est-Ouest dans un premier temps puis la chaussée Nord-Sud par la suite. De plus, plusieurs piétons traversent la rue ailleurs qu'au carrefour ou lorsque le feu de circulation est rouge. Ils cherchent à traverser la rue le plus vite possible. Une étude réalisée en Allemagne a montré que 38% des piétons traversent au feu rouge lorsque le temps d'attente dépasse 40 secondes alors qu'ils ne sont que 18% à traverser sur le feu rouge lorsque le temps d'attente est inférieur à 30 secondes (Joly et al., 1994).

Au carrefour Peel/Ste-Catherine, l'impatience des usagers (piétons et conducteurs) et les débits élevés contribuent à la formation de files d'attente assez longues pour se répercuter sur la circulation des carrefours environnants (Drainville et St-Jacques, 2002; Drainville et St-Jacques, 2003).

L'analyse du cycle du feu de circulation a montré que les véhicules qui voyagent en direction Est (la rue Sainte-Catherine est à sens unique vers l'Est) ont 35 secondes de temps de vert alors que les véhicules qui circulent dans l'axe Nord-Sud ont 27 secondes de temps de vert. À chaque approche, une priorité aux piétons est donnée en début de cycle. Cela permet aux piétons de s'engager dans l'intersection avant que les véhicules puissent tourner (Drainville et St-Jacques, 2002; Drainville et St-Jacques, 2003).

Le nombre de piétons qui traversent aux approches Nord et Sud est deux fois plus élevé que le nombre de piétons qui traversent aux approches Est et Ouest. Le temps de traverse minimum requis par approche pour que les piétons puissent traverser est présenté au Tableau 9.1.

Tableau 9.1 : Temps de traverse requis par approche pour les piétons

| Approche | Distance | Temps de traverse minimum requis * | Temps alloué actuellement |
|-------------|----------|------------------------------------|---------------------------|
| Nord | 12,10 m | 16,5 s | 27,0 s |
| Sud | 16,15 m | 22,0 s | 27,0 s |
| Est | 15,65 m | 21,3 s | 34,0 s |
| Ouest | 12,10 m | 16,5 s | 34,0 s |
| Diagonale 1 | 18,30 m | 25,0 s | - |
| Diagonale 2 | 23,90 m | 32,6 s | - |

* Temps total d'engagement et de dégagement du carrefour à une vitesse de marche d'environ 1,36 m/s

Source : Drainville et St-Jacques, 2002

Les temps de traverse fournis aux piétons actuellement sont supérieurs aux temps minimums requis calculés. Par contre, les conflits avec les mouvements véhiculaires sont problématiques.

L'aménagement d'une traverse de type Barnes Dance au carrefour Peel/Ste-Catherine nécessiterait l'ajout d'une phase spéciale de type Barnes Dance au feu de circulation. Durant cette phase, tous les piétons pourraient traverser le carrefour alors que les véhicules seraient immobilisés. Les véhicules circuleraient par la suite alors que les piétons seraient immobilisés.

En incluant une phase de type Barnes Dance dans le cycle du feu de circulation actuel, les phases permettant les déplacements véhiculaires seraient réduites, mais les conflits entre les piétons et mouvements de virage à droite seraient éliminés. Le niveau de service pour les mouvements de virage à droite passerait de E ou F (selon l'approche) à C. Ce qui constituerait

une amélioration substantielle de l'écoulement de la circulation grâce à l'élimination des conflits qui existent actuellement entre ces mouvements de virage à droite et les piétons (Drainville et St-Jacques, 2002; Drainville et St-Jacques, 2003).

Compte tenu de l'importance des débits piétonniers à ce carrefour et du nombre de conflits avec les véhicules, il est très important de mettre l'emphase sur la sécurité des piétons à ce carrefour. L'élimination des conflits entre piétons et conducteurs permettrait des gains substantiels dans la perception du niveau de sécurité sans avoir d'impact négatif sur les conditions de circulation au carrefour. Pour assurer le bon fonctionnement de ce type de traverse à Montréal, il faudrait une bonne sensibilisation du public au fonctionnement des traverses de type Barnes Dance; une signalisation claire; et un marquage approprié (Drainville et St-Jacques, 2002; Drainville et St-Jacques, 2003, St-Jacques, 2017b).

9.1.2 Application au Québec – Cas concrets

Depuis l'étude de Drainville et St-Jacques (2002 et 2003), des traverses piétonnes de type Barnes Dance ont été mises en place à Montréal près du Centre de commerce mondial et à Québec sur la Promenade Champlain. Dans les deux cas, les concepteurs ont fait appel aux conseils de St-Jacques. Les feux pour piétons fonctionnent en mode protégé. Ainsi, des temps de vert sont réservés exclusivement aux piétons. Ces temps sont en simultané sur toutes les approches du carrefour et les véhicules sont immobilisés lorsque les piétons peuvent traverser.

Or, les piétons n'ont pas nécessairement le droit de traverser en diagonale au Québec selon l'article 451 du Code de la sécurité routière (Projet de loi no 71, chap. 34, 10 décembre 2010) :

« 451. Un piéton est tenu de traverser la chaussée perpendiculairement à son axe. Il ne peut la traverser en diagonale que s'il y est autorisé par un agent de la paix, un brigadier scolaire ou une signalisation.

Une phase exclusive pour piétons, à savoir un intervalle où les signaux lumineux d'une intersection allouent sur toutes les approches un mouvement protégé aux piétons, est une signalisation autorisant le piéton à traverser la chaussée en diagonale. »

Bien que le ministère des Transports du Québec a modifié sa norme, en décembre 2011, pour autoriser le passage en diagonale dans une intersection et créé le dessin normalisé 056B pour permettre ce type de traversée (Transports Québec, 2018e), le Code de la sécurité routière n'a

pas été ajusté en conséquence car le Ministère considère qu'il faut plus de temps pour traverser une rue en diagonale que perpendiculairement à la rue.

Les municipalités du Québec qui désirent permettre la traversée des piétons en diagonale à leurs carrefours peuvent par contre le faire en installant des panneaux de signalisation autorisant le piéton à traverser la chaussée en diagonale, en modifiant le marquage en conséquence et en augmentant le temps de vert pour la phase piétonne afin d'éviter que des piétons restent piégés au centre de l'intersection.

9.2 Aménagement de voies piétonnes

Selon Gehl (2012), afin de créer des villes animées, sûres et durables, il faut utiliser l'espace urbain pour encourager les citoyens à recourir à la marche comme moyen de transport. Ainsi, outre les traverses piétonnes, des voies piétonnes peuvent être aménagées. Ce type d'aménagement est par contre beaucoup plus fréquent en Europe qu'au Québec.

Le Code de la rue belge (ISBR, 2005), entré en vigueur le 1^{er} janvier 2004, a instauré le « principe de prudence et de priorité accordée aux plus faibles et vulnérables ». De nouvelles règles ont été créées afin d'offrir à chaque usager de la route davantage de sécurité et rendre la vie en milieu urbain plus belle et plus agréable. Selon l'ISBR (2005), peu importe son âge, sa capacité physique et son moyen de locomotion, chaque utilisateur du réseau routier doit pouvoir se déplacer en sécurité. La France a suivi la Belgique en élaborant, deux ans plus tard, son propre « Code de la rue ».

Berthod et Hiron (2012) précisent que les règles de priorité entre les différents usagers, l'aménagement physique des rues et la limite de vitesse imposée aux véhicules motorisés, jouent un rôle déterminant pour promouvoir les déplacements actifs en milieu urbain.

Bien qu'une réglementation explique le comportement que les différents utilisateurs du réseau doivent adopter dans les espaces partagés, les piétons sont plus en sécurité et incités à se déplacer lorsque des voies leur sont exclusivement dédiées.

L'Association Rue de l'avenir (2008) précise que les trottoirs réservés aux piétons devraient être d'au moins trois mètres. Que la largeur d'un mètre 80 (largeur de deux chaises roulantes), qui est fréquemment utilisée dans les villes, est nettement insuffisante pour recevoir un flux de piétons important.

La Ville de Barcelone donne une place privilégiée à ses piétons. C'est dans les années 1990 que la Ville a décidé de réaménager l'espace public en faveur des piétons. Les Jeux Olympiques de 1992 sont à l'origine de cette transformation urbaine. Barcelone est aujourd'hui un modèle au niveau de l'aménagement favorisant les déplacements piétonniers. De nombreuses villes de France et d'ailleurs s'en inspirent pour réaliser des espaces publics respectueux des attentes des citoyens (Miaux, 2008).

Barcelone est une ville conçue pour la marche. Sur de grands axes routiers, les piétons ont leur place au centre de la chaussée. Ils sont alors très protégés des véhicules motorisés qui circulent de part et d'autre de leur voie piétonne. Des plantations et du mobilier urbain complètent l'aménagement de ces voies (Figure 9.5). Selon Miaux (2008), ce type d'aménagement facilite le « déplacement dans un cadre agréable et sécurisé ».



Figure 9.5 : Voie piétonne au centre de la chaussée à Barcelone (Espagne)

Photographies : Michèle St-Jacques

L'avenue Jean-Jaurès à Nîmes, en France, a été aménagée de 2010 à 2013 selon le même principe avec une esplanade centrale (Figure 9.6). L'architecte Jean-Michel Wilmotte s'est d'ailleurs inspiré des Ramblas de Barcelone pour réaménager cette avenue de 1,6 km de long sur 63 m de large. La nouvelle avenue octroie 50% de l'espace aux piétons comparativement à 13% avant le réaménagement. Du mobilier urbain, des bassins et fontaines sont installés tout le long de la voie piétonne. C'est un endroit agréable pour circuler à pied. Le piéton a de l'espace et est éloigné des véhicules motorisés.



Figure 9.6 : Voie piétonne au centre de la chaussée à Nîmes (France)

Photographie : Michèle St-Jacques

L'avenida da Liberdade à Lisbonne, au Portugal, est une des principales avenues de la ville. Elle fait 90 m de large sur 1,1 km de long. Une esplanade centrale très large a été aménagée pour les piétons au centre de l'avenue. Plutôt que des Ramblas de Barcelone, son inspiration proviendrait plutôt de l'avenue des Champs-Élysées à Paris, possiblement parce qu'il y a des commerces prestigieux qui longent l'avenue. Les trottoirs sont très larges et des pavés de marbre forment de somptueuses mosaïques sur le sol (Figure 9.7).

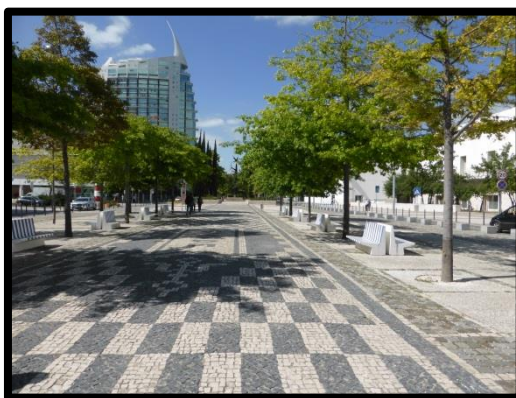


Figure 9.7 : Voie piétonne au centre de la chaussée à Lisbonne (Portugal)

Photographie : Michèle St-Jacques

Au Québec, il n'y a pas d'aménagement équivalent au centre de la chaussée. Par contre, les trottoirs s'élargissent de plus en plus (Figure 5.22) et des promenades sont aménagées, dans les grandes villes, le long du fleuve St-Laurent. Ainsi, des promenades ont été aménagées à Montréal, Québec, Trois-Rivières et Rimouski (Figure 9.8) selon le même principe que la Promenade des Anglais à Nice en France (Figure 9.9).



Figure 9.8 : Promenade du Boulevard René-Lepage à Rimouski (Québec)

Photographie : Jean-François Rolland



Figure 9.9 : Promenade des Anglais à Nice (France)

Photographie : Michèle St-Jacques

L'Association Rue de l'avenir (2008) précise que « les piétons ont besoin d'une surface lisse et plane qui contraste avec la chaussée » et propose d'utiliser des pavages qui rappellent le caractère urbain comme revêtement de trottoir.

Selon le CETUR (1990a), les matériaux peuvent servir à créer des ambiances urbaines. Certains aménagements sont réalisés en revêtements bitumineux colorés (Chapitre 6) mais d'autres peuvent être réalisés avec du granite ou du marbre. Ainsi, là où il y a beaucoup de piétons, des motifs peuvent être présents sur le revêtement.

Ces motifs, qui peuvent avoir un lien avec l'histoire de la ville ou se marier avec le paysage environnant, captent l'attention et, parfois, dérangent au niveau de la vision. Un conducteur qui passe sur ces motifs réalise que cette zone est particulière. Il peut se demander s'il a le droit d'y

être et va donc ralentir, selon le même principe que celui de l'espace partagé (route nue) où les conducteurs deviennent plus consciencieux (Lacasse, 2009).

C'est ce que la Ville de Québec a fait au carrefour des rues Saint-Paul et Saint-Pierre. Les pavés dessinent de longues courbes ondulatoires de vagues afin de rappeler l'important passé maritime de la ville (Figure 9.10).

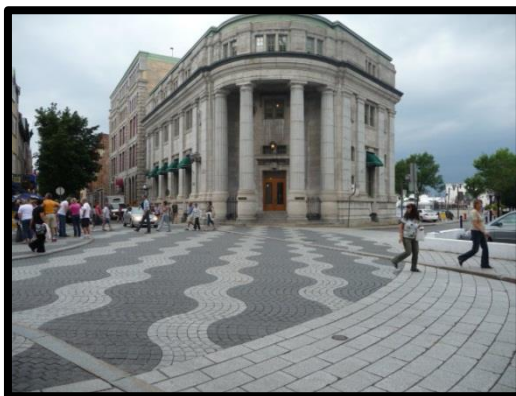


Figure 9.10 : Revêtement à motifs à Québec (Carrefour St-Paul/St-Pierre)

Photographie : Michèle St-Jacques

Ces pavés rappellent ceux qui sont utilisés pour créer une illusion d'onde à Lisbonne (Figure 9.11) et sur La Rambla à Barcelone (Figure 9.12).

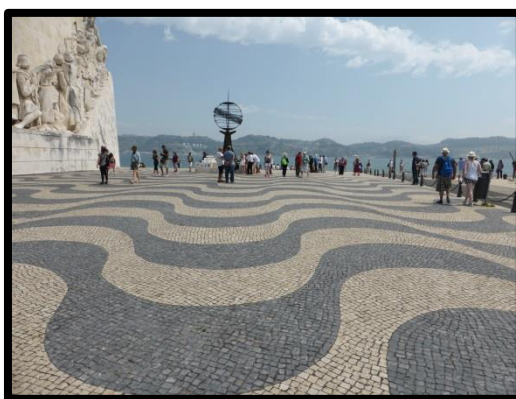


Figure 9.11 : Revêtement à motifs à Lisbonne (Portugal)

Photographie : Michèle St-Jacques

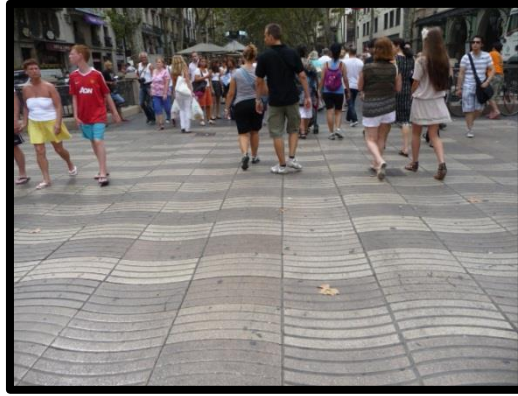


Figure 9.12 : Revêtement à motifs à Barcelone (La Rambla, Espagne)

Photographie : Michèle St-Jacques

9.3 Aménagement d'espaces urbains avec équipements sportifs

Afin de dynamiser les espaces urbains et faire bouger ses citoyens, plusieurs villes du Portugal ont aménagé des équipements sportifs en bordure de leurs voies piétonnes.

Ainsi, le piéton est invité à faire un court détour pour se mettre en forme (Figures 9.13 et 9.14) ou tout simplement à faire une halte pour faire des exercices physiques sans dévier de son parcours (Figure 9.15).



Figure 9.13 : Sentier avec équipements sportifs en bordure de la voie piétonne (Figueira da Foz, Portugal)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 9.14 : Équipements sportifs à Figueira da Foz (Portugal)

Photographies : Michèle St-Jacques



Figure 9.15 : Équipements sportifs à Aveiro (Portugal)

Photographie : Michèle St-Jacques

Ces aménagements créent de l'ambiance et encouragent les citoyens à bouger plutôt que de rester sédentaires. Ils mériteraient d'être copiés dans toutes les villes.

9.4 Aménagement de voies cyclables

L'usage du vélo est un facteur favorable à la vie locale. L'aménagement de voies cyclables sécuritaires peut inciter les citoyens à faire du vélo (CETUR, 1990a).

Selon Barraud (2013), le vélo représente 3% à 4% des déplacements en France, 10% en Allemagne et 28% aux Pays-Bas. Selon une enquête réalisée par Sofres (2003 : voir Barraud, 2013), 13% des français se déplaceraient à vélo s'ils avaient le choix. Le développement de pistes cyclables et les mesures pour faciliter la circulation à vélo recueillent 90% d'opinions favorables en France.

La ville de Paris comptait 545 km de voies linéaires pour les vélos en 2012. Bien que le nombre d'aménagements a augmenté de 157% par rapport aux 13 années précédentes en Ile-de-France, Lopes (2014) précise que de faire des aménagements ne suffit pas pour augmenter la mobilité à vélo. Les aménagements pour les vélos ne sont pas que quantitatifs. Ils doivent aussi être qualitatifs. Le nombre de déplacements à vélo a doublé entre 2001 et 2010. Lopes (2014) attribue le succès aux aménagements qui permettent une continuité et apportent plus de sécurité.

Plusieurs types de voies cyclables peuvent être mises en place. Certaines favorisent l'usage du vélo à des fins récréatives alors que d'autres facilitent l'usage du vélo comme mode de transport.

Got (2015) spécifie qu'il y a quatre types de cyclistes, soit :

- le cycliste qui utilise son vélo pour se déplacer dans un but utilitaire pour aller au travail ou faire des courses.
- le cyclo-sportif qui fait du vélo pour maintenir la forme et par plaisir;
- le randonneur qui aime la promenade;
- le pratiquant du VTT qui doit utiliser les infrastructures routières pour des parcours de jonction.

9.4.1 Types de voies cyclables

En France, les voies cyclables se divisent en quatre catégories, soit (Robin, 1996) :

- les pistes cyclables;
- les bandes cyclables;
- les bandes cyclables partagées;
- les chaussées partagées.

Au Québec, les Normes des ouvrages routiers du ministère des Transports du Québec définissent quatre types de voies cyclables (Transports Québec, 2018j):

- les chaussées désignées;

- les bandes cyclables;
- les accotements revêtus désignés comme voies cyclables;
- les pistes cyclables.

Chaussée désignée

Sur ce type de voie cyclable, les cyclistes et les véhicules motorisés partagent la même chaussée. Il n'y a pas d'aménagement particulier ni de séparateur physique (Transports Québec, 2018j).

Un marquage au sol et une signalisation rappellent aux conducteurs la présence potentielle de cyclistes sur la chaussée (Figure 9.16). Ce type de voie cyclable existe aussi en France et porte le nom de «chaussée partagée» (CETUR, 1990a).



Saint-Sauveur, Québec

Varenes, Québec

Figure 9.16 : Chaussées désignées

Photographies : Michèle St-Jacques et Davy Anthony Sabatino

Bande cyclable

La bande cyclable est contigüe aux voies de circulation des véhicules motorisés et délimitée par un marquage au sol. Elle est unidirectionnelle et les cyclistes circulent dans le même sens que les véhicules motorisés. Les Normes québécoises (Transports Québec, 2018j) recommandent que la bande cyclable soit aménagée le long d'une voie où il n'y a pas de stationnement automobile (Figure 9.17).



Sillery, Québec

Otterburn Park, Québec

Figure 9.17 : Bandes cyclables

Photographies : Michèle St-Jacques et Luc Pellecier

Got (2015) mentionne que l'avantage des bandes cyclables c'est qu'elles sont en continuité avec la chaussée. Le cycliste est donc visible des autres usagers de la route. Par contre, comme il n'y a pas de séparateur physique, les véhicules motorisés peuvent empiéter sur la bande cyclable ou heurter un cycliste compte tenu de leur proximité. Le stationnement sur la bande cyclable est aussi fréquent.

Dans le cas où le stationnement est présent à proximité d'une bande cyclable, Transports Québec (2018j) précise que la bande cyclable doit être aménagée entre la bande de stationnement et la voie de circulation afin de favoriser les manœuvres aux intersections et offrir une meilleure visibilité des cyclistes. Ce type de voie cyclable porte le même nom en France.

En plus des bandes cyclables, il existe, en Europe, des bandes cyclables partagées. Ce sont des voies aménagées en bordure de la chaussée automobile et réservées à l'usage de certains véhicules autorisés tels les vélos, les autobus et les taxis ou les cyclistes et les piétons (CETUR, 1990a).

Accotement revêtu désigné comme voie cyclable

Ce type d'aménagement cyclable se retrouve majoritairement en milieu rural et très peu en milieu urbain (Transports Québec, 2018j) (Figure 9.18). Cet aménagement peut causer un certain inconfort aux cyclistes et même être dangereux car les véhicules motorisés circulent à des vitesses assez élevées (90 km/h) à proximité des cyclistes.



Figure 9.18 : Accotement revêtu désigné comme voie cyclable (Verchères, Québec)

Photographie : Luc Pellecier

Piste cyclable

La piste cyclable est toujours séparée physiquement de la circulation motorisée et est habituellement bidirectionnelle (Transports Québec, 2018j) (Figure 9.19).



Figure 9.19 : Piste cyclable (Mont Saint-Hilaire, Québec)

Photographie : Luc Pellecier

Selon Got (2015), avec un tel aménagement, les cyclistes sont protégés des pertes de contrôle des véhicules motorisés. Les inconvénients principaux des pistes cyclables ont trait à l'entretien et au fait que les cyclistes ne sont pas toujours visibles. De la végétation peut parfois les camoufler. Ainsi, aux carrefours, le cycliste peut se faire frapper par un véhicule qui tourne à droite et qui n'est pas attentif à la venue d'un cycliste sur la piste qu'il va croiser.

Lorsque la piste cyclable est partagée avec les piétons et les patineurs, elle porte le nom, au Québec, de sentier polyvalent. La piste cyclable porte le même nom en France (CETUR, 1990a).

L'Association Rue de l'avenir (2008) ne recommande pas que les cyclistes soient « mélangés » aux piétons. Les voies mixtes bus et vélos d'une largeur de 4,5 m sont par contre acceptables et efficaces.

Lopes (2014) mentionne qu'en milieu urbain, ce n'est pas une bonne idée de faire des pistes cyclables partagées avec les piétons car certains cyclistes peuvent avoir besoin d'aller vite alors que des personnes à mobilité réduite peuvent se retrouver sur la piste.

9.4.2 Voies cyclables sécuritaires

Afin de rendre les voies cyclables sécuritaires certains aménagements peuvent être réalisés et certaines mesures peuvent être prises par les municipalités dont (Crevier et St-Jacques, 2007; St-Jacques et al., 2014; Rolland, 2017; Turcot et St-Jacques, 2015) :

- rendre les cyclistes visibles des autres usagers de la route (Figure 9.20).



Figure 9.20 : Cycliste visible (Boul. Gouvion Saint-Cyr, Paris)

Photographie : Michèle St-Jacques

- réduire les possibilités d'emportierage (aussi appelé dooring), soit faire en sorte que les occupants des véhicules motorisés ne frappent pas un cycliste en ouvrant leur portière. L'aménagement de droite présenté à la Figure 9.21 protège les cyclistes alors que celui de gauche est propice à l'emportierage.



Rue Wellington, Montréal

Rue Berri, Montréal

Figure 9.21 : Voies cyclables à Montréal

Photographies : Michèle St-Jacques

- mettre en place des zones avancées, appelées sas cyclable ou sas vélo, pour les cyclistes. Ces aménagements permettent aux cyclistes (et parfois aussi aux deux roues motorisées) de se retrouver devant les véhicules à une intersection et non dans l'angle mort des conducteurs (Figure 9.22). Ils sont ainsi davantage visibles et peuvent plus facilement tourner à gauche. De plus, leur attente ne se fait pas dans les gaz d'échappement des véhicules motorisés. Une phase du feu de circulation doit permettre le départ prioritaire des deux roues.

**Figure 9.22 : Sas pour deux roues (Barcelone, Espagne)**

Photographies : Michèle St-Jacques

- aménager des espaces distincts pour les piétons et les vélos (Figure 5.22).

- rendre les cyclistes visibles lorsqu'ils traversent des carrefours (Figure 9.23). Un marquage de couleur au centre du carrefour indique aux véhicules motorisés le croisement avec une voie cyclable.



Figure 9.23 : Prolongement de voie cyclable dans le carrefour (Barcelone, Espagne)

Photographies : Michèle St-Jacques

9.4.3 Voies cyclables utilitaires

Le ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement de France (2011) recommande de :

- développer les circulations douces offrant des déplacements alternatifs aux véhicules motorisés grâce à un réseau dense et « surtout » continu de voies cyclables.
- favoriser l'usage du vélo en rendant la randonnée cyclable plaisante, agréable et « fonctionnelle ».

Selon Turcot et St-Jacques (2015), l'utilisation du vélo sur une base quotidienne ou occasionnelle pour se déplacer dans les villes au Québec a augmenté de 17% en 10 ans. Les municipalités doivent donc maintenant considérer le vélo comme un mode de transport utilitaire et non plus juste à des fins récréatives.

Got (2015) dit qu'une erreur d'aménagement consiste à « tenter de faire passer les cyclistes par un trajet long et difficile alors qu'ils peuvent emprunter (illégalement) un trajet court ».

Pour que le vélo soit un mode de transport utilitaire, Turcot (Turcot et St-Jacques, 2015) recommande que le réseau cyclable soit :

- étendu sur l'ensemble du territoire, soit non interrompu lorsque le cycliste change de municipalité ou d'arrondissement.
- direct, soit ne pas faire de détours inutiles sous prétexte que c'est plus beau près du fleuve que près des bâtiments par exemple, car un cycliste ne veut pas allonger son parcours lorsqu'il se déplace pour se rendre au travail, aux études ou pour faire des courses.
- uniforme, soit le même design simple et facilement lisible sur l'ensemble du réseau.
- sécuritaire, soit en limitant les points de rencontres avec les véhicules motorisés et en séparant physiquement les voies cyclables des véhicules motorisés (Figure 9.24).



Figueira da Foz, Portugal

Bilbao, Espagne

Figure 9.24 : Voies cyclables séparées des véhicules motorisés

Photographies : Michèle St-Jacques

- confortable, soit des voies assez larges séparées des piétons et des véhicules motorisés (Figure 9.24);
- attrayant, soit bien éclairé et entretenu en toutes saisons.

9.5 Conclusion

Pour favoriser le transport actif, les différentes municipalités ont plusieurs moyens à leur disposition. Si l'espace est aménagé pour rendre les déplacements des piétons et cyclistes

agréables et sécuritaires, la proportion d'adeptes du transport actif augmentera et cela contribuera à rendre les villes plus animées.

L'aménagement de traverses piétonnes de type Barnes Dance est très populaire aux États-Unis. Il permet de faciliter la traversée des piétons aux carrefours signalisés. En plus d'améliorer la sécurité des piétons en éliminant les conflits avec les véhicules motorisés, cela améliore les conditions de circulation (niveaux de service), dans les zones où il y a une forte proportion de piétons, car les véhicules motorisés peuvent réaliser plus facilement leurs manœuvres de virage aux carrefours.

Des voies piétonnes larges et bien situées favorisent les déplacements à pied. Des équipements sportifs peuvent être installés le long de ces voies pour favoriser l'activité physique, comme c'est le cas au Portugal. Ces voies ne doivent pas être partagées avec les cyclistes.

Afin de rendre les voies cyclables sécuritaires, il faut que les cyclistes soient visibles des autres usagers de la route, réduire les possibilités d'emportierage et mettre à leur disposition des sas vélos prioritaires aux carrefours.

Les municipalités doivent considérer le vélo comme un mode de transport utilitaire et non plus juste récréatif. Elles doivent donc créer un réseau cyclable étendu, direct, uniforme, sécuritaire, confortable, attrayant, éclairé et entretenu en toutes saisons. Ce réseau peut être distinct du réseau cyclable récréatif.

En plus des mesures pour favoriser le transport actif, les municipalités doivent aussi trouver le moyen d'encourager le transport collectif sur leur territoire.

CHAPITRE 10

TRANSPORT COLLECTIF

10.0 Introduction

Plusieurs modes de transport se retrouvent en milieu urbain. Outre les modes de transport actif, il y a les modes de transport où l'individu est seul dans son véhicule, soit la voiture sans passager; la moto; le camion; le triporteur/quadriporteur; le segway; et le ski-doo.

Mais il y a aussi les modes de transport collectif tels que la voiture avec passagers (covoiturage et taxi); le métro (de surface, aérien et souterrain); l'autobus; le train; la navette maritime; le téléphérique; le tapis roulant; la calèche; le tramway; le trolleybus; la gondole; l'ascenseur; et le funiculaire.

S'inspirant de ce qui se fait ailleurs dans le monde, on parle de tramway, de trolleybus, de SRB (système rapide par bus), de SLR (système léger sur rail), de funiculaire pour Montréal et les principales municipalités du Québec. Est-ce que ces modes de transport sont si innovateurs? Est-ce que ces modes de transport collectif sont vraiment ceux qui devraient être priorités pour Montréal?

Ce chapitre fait un retour en arrière pour voir dans quelle mesure Montréal a du retard à rattraper sur les autres grandes villes de la planète en termes de transport collectif. Des mesures pour favoriser le transport collectif sont également mentionnées.

10.1 Historique du transport à commun à Montréal

C'est en 1861 qu'a été mis en place, par la *Montreal City Passenger Railway Company*, le premier réseau de transport en commun à Montréal. Il s'agissait d'un tramway à traction animale sur un tronçon de 10 kilomètres sur les rues Notre-Dame, McGill, Craig (aujourd'hui nommée Saint-Antoine) et Saint-Jacques. Le réseau a doublé de superficie en 1864 pour desservir en plus les rues Sainte-Catherine, Wellington et Saint-Laurent (Courcy-Legros, 1985).

La population de Montréal augmente et la superficie du territoire habité aussi. En 1890, la *Montreal City Passenger Railway Company*, qui a changé de nom pour *Montreal Street Railway*

Company, compte 1 000 chevaux, 150 voitures, 104 traîneaux et 49 omnibus pour un réseau de 48 km (Courcy-Legros, 1985). L'omnibus est une sorte de diligence à traction animale.

Le premier tramway électrique est mis en service le 21 septembre 1892 sur la rue Notre-Dame. Le réseau de tramways de Montréal est complètement électrifié en deux ans. Les tramways électriques étant plus rapides que les chevaux, ils peuvent desservir des secteurs plus éloignés dont Sault-au-Récollet en 1893; la Paroisse Saint-Laurent en 1895; le Bout-de-l'Île en 1896; et Lachine en 1897. Le dernier tramway à traction animale est retiré à l'automne 1894 (Courcy-Legros, 1985).

En 1900, la *Montreal Street Railway Company*, compte 358 tramways pour un réseau de 128 km. Le premier véhicule au monde dans lequel un voyageur peut payer en entrant plutôt que d'attendre la visite d'un agent, le tramway PAYE (Pay As You Enter), est inauguré en 1905. À la même époque, les compagnies *Montreal Park and Island Railway Company* et *Terminal Railway Company* offrent un service de transport par tramway vers les villes ou villages de Notre-Dame de Grâce, Snowdon, Cartierville, Ahuntsic et Lachine. Les trois compagnies de tramways fusionnent en 1911 pour devenir la *Montreal Tramways Company* (Courcy-Legros, 1985).

Les années 1920, soit les années suivant la fin de la première guerre mondiale, représentent une période d'opulence pour Montréal : développement des activités commerciales et industrielles; et construction de bâtiments de grande qualité architecturale. Les voies maritimes et ferroviaires permettent un accroissement des échanges nationaux et internationaux et l'industrie automobile prend de l'ampleur (St-Jacques, 2014). Le réseau de tramways de Montréal compte alors plus de 900 véhicules. Les tramways à employé unique font leur apparition (deux employés étaient jusqu'alors nécessaires, soit le conducteur et le percepteur). L'autobus vient compléter le réseau de tramways sur les boulevards périphériques Gouin (au nord de Montréal) et Lasalle (au sud de Montréal) (Courcy-Legros, 1985).

En 1931, la *Montreal Tramways Company* possède 350 tramways et 155 autobus pour desservir un réseau combiné de 685 km. C'est une période de dépression économique qui suit la crise économique de 1929. L'autobus coûte moins cher à exploiter que le tramway. Le trolleybus fait donc son apparition le 29 mars 1937 sur la rue Beaubien. Il s'agit d'une première canadienne (Courcy-Legros, 1985; St-Jacques, 2014).

La deuxième guerre mondiale met un frein au développement du transport urbain. Le réseau de la *Montreal Tramways Company* compte alors 7 trolleybus, 929 tramways et 224 autobus. Après la guerre, les tramways et les trolleybus sont progressivement remplacés par des autobus. Le transport en commun urbain devient un service public sous la responsabilité de la Commission de transport de Montréal (CTM). Le dernier tramway de Montréal est retiré le 30 août 1959. La CTM gère alors 1 830 autobus et 105 trolleybus pour un réseau combiné de 548 km (Courcy-Legros, 1985; St-Jacques, 2014).

Les années 1960 correspondent à une période de reprise économique de l'après-guerre. Des édifices en hauteur se construisent au centre-ville de Montréal. Il y a une croissance rapide de l'automobile et les premiers problèmes de congestion routière apparaissent. La décision de construire un métro souterrain est prise à l'automne 1961. La construction débute en mai 1962 et le métro de Montréal est inauguré le 14 octobre 1966, juste à temps pour l'Exposition universelle Expo 67 (Terre des Hommes). Au printemps de 1967, le métro de Montréal comprend 26 stations réparties sur trois lignes pour un réseau total de 26 km. Le trolleybus disparaît en 1966 et des dizaines de lignes d'autobus sont créées, modifiées ou abolies avec l'ouverture du métro (Courcy-Legros, 1985; St-Jacques, 2014).

En 1970, le réseau de surface du transport en commun, desservi par 1 852 autobus, totalise 822 km. Pour les Jeux Olympiques de Montréal en 1976, le réseau de métro souterrain est prolongé vers l'est. Il est prolongé vers l'ouest en 1978, puis vers le nord de 1980 à 1986 et de 2002 à 2007. Une quatrième ligne de métro est mise en fonction à la fin des années 1980. Le métro de Montréal compte maintenant 69 stations (Courcy-Legros, 1985; St-Jacques, 2014).

L'histoire du transport en commun à Montréal se divise donc en 5 périodes qui ont chacune marqué l'arrivée d'un nouveau moyen de transport, soit (St-Jacques, 2014) :

- le tramway à traction animale (1861 – 1894);
- le tramway électrique (1892 – 1959);
- l'autobus (1919 –);
- le trolleybus (1937 – 1966);
- le métro souterrain (1966 –).

10.2 Modes de transport collectif populaires en 2019

Outre le tramway et le trolleybus, d'autres modes de transport collectif sont reconnus comme étant « à la mode » internationalement en 2019. Parmi ces modes, il y a le funiculaire, le métro aérien, la navette maritime, le tapis roulant et le train. Or ces modes de transport sont aussi en fonction au Québec ou l'ont déjà été.

10.2.1 Funiculaire

Le Québec a déjà compté trois funiculaires. Le plus vieux funiculaire est celui qui relie la basse ville de Québec à la haute ville de Québec dans le Vieux-Québec. Il permet d'accéder à la terrasse Dufferin à partir du Quartier Petit-Champlain en 62 secondes sur une pente de 85,5 m inclinée de 45 degrés. Il existe depuis 1879. Il a été électrifié en 1909, reconstruit suite à un incendie en 1945 et rénové en 1998. Il est toujours en opération et permet le transport de 20 personnes par cabine (Figure 10.1).



Figure 10.1 : Funiculaire du Vieux Québec

Source : <http://www.quebecregion.com/fr/sites-touristiques/funiculaire-du-vieux-quebec/>

Le second funiculaire a été inauguré en 1885. Il permettait d'accéder au sommet du mont Royal. Situé dans l'axe de la rue Duluth, il était accessible à partir de l'avenue du Parc. Un premier tramway horizontal amenait les visiteurs au pied du mont Royal. Une paire de cabines sur rails en pente, fonctionnant à la vapeur, amenait ensuite les passagers au sommet du mont Royal (Figure 10.2). Le funiculaire a été fermé en 1918 car sa sécurité était devenue déficiente.

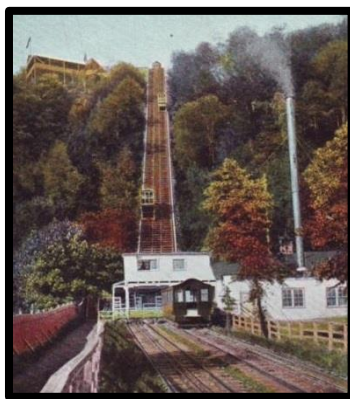


Figure 10.2 : Funiculaire du Mont Royal

Source : <http://montrealmosaic.com/fr/image/funiculaire-mont-royal-mount-royal-funicular>

Le troisième funiculaire du Québec est celui de la tour du Stade Olympique de Montréal. Inauguré en 1987, il est toujours en opération. La tour du Stage Olympique est la plus haute tour inclinée au monde. Elle a une hauteur de 165 m et une inclinaison de 45 degrés. Le funiculaire, d'une capacité de 76 passagers, est le seul au monde à fonctionner sur une structure courbée. Un système hydraulique permet à la cabine de demeurer à l'horizontal tout le long de l'ascension (Figure 10.3).



Figure 10.3 : Funiculaire de la tour du Stade Olympique

Source : <http://waremontreal.blogspot.ca/2011/08/observatoire-de-la-tour-de-montreal.html>

10.2.2 Métro aérien

Lors de l'Exposition universelle Expo 67 (Terre des Hommes) de Montréal, un système avant-gardiste de monorail, le Minirail, permettait aux visiteurs de se déplacer sur l'ensemble du site situé sur les îles Sainte-Hélène et Notre-Dame (Figure 10.4).



Figure 10.4 : Monorail (Expo 67, Montréal)

Source : @PierrePlante63

En 2019, il y a encore une petite section de ce monorail qui est en exploitation sur l'île Sainte-Hélène, soit au parc d'attractions La Ronde exploité par Six Flags.

10.2.3 Navette maritime

Il y a plusieurs traversiers au Québec qui permettent de relier les deux rives de la rivière des Outaouais ou du fleuve St-Laurent. Les principaux font la navette entre:

- Matane et Baie Comeau;
- Matane et Godbout;
- l'Isle-aux-Coudres et Saint-Joseph-de-la-Rive;
- Sorel-Tracy et Saint-Ignace-de-Loyola;
- Tadoussac et Baie-Sainte-Catherine;
- l'Isle-aux-Grues et Montmagny;
- Rivière-du-Loup et Saint-Siméon;
- l'Île d'Entrée et Cap aux Meules;
- l'Isle Verte et Notre-Dame-des-Sept-Douleurs;
- Hudson et Oka;
- Québec et Lévis;
- Montréal et Longueuil.

Certains de ces traversiers parcourent des distances de plus de 50 km et servent donc presque exclusivement au transport des véhicules motorisés. D'autres servent aussi ou seulement au transport collectif. C'est le cas des navettes maritimes Québec-Lévis et Montréal-Longueuil.

Ainsi, la navette Québec-Lévis (Figure 10.5) transporte annuellement 415 000 véhicules, 2,2 millions de passagers et 188 500 cyclistes. Elle relie les deux centres-villes en 12 minutes. Le trajet d'un kilomètre sur l'eau permet d'éviter un trajet de plus de 30 kilomètres en empruntant les ponts de Québec. Elle existe depuis 1860 (St-Jacques, 2014).



Figure 10.5 : Navette Québec-Lévis

Source : <http://www.quebecregion.com/fr/traversiers-et-bateau-taxi/traverse-quebec-levis-societe-des-traversiers-du-quebec/>

La navette Longueuil – Ile Ste-Hélène – Montréal (Figure 10.6) est en opération depuis 1990 entre les mois de mai et septembre. Elle sert uniquement au transport collectif. Elle permet de transporter 196 passagers et 70 vélos à la fois ou 90 passagers et 30 vélos selon la navette. Le parcours de 7 kilomètres se fait en 25 minutes (St-Jacques, 2014).



Figure 10.6 : Navette Vieux-Port de Montréal - Longueuil

Source : http://www.bonjourquebec.com/qc-fr/repertoire-services-touristiques/traversier-et-bac/traverse-vieux-port-de-montreal-longueuil_6685657.html

À l'été 2018, un projet pilote de navette fluviale a été mis en place entre Pointe-aux-Trembles et le Vieux-Port de Montréal. Le bateau mouche d'une cinquantaine de places permettait de faire le trajet entre l'est de l'île de Montréal et le Vieux-Port de Montréal en une trentaine de minutes plutôt qu'en une heure en voiture. Près de 5 000 personnes ont utilisé cette navette en 5 jours et près de la moitié de ces gens utilisaient d'habitude leurs voitures pour se déplacer.

10.2.4 Tapis roulant

Il y a eu deux principaux tapis roulants à Montréal. Le premier, constitué de deux rampes, se retrouve à la station de métro Beaudry (Figure 10.7). C'est la seule station du métro de Montréal à être équipée d'un tapis roulant. Il a été inauguré le 21 décembre 1966 et est toujours en opération.



Figure 10.7 : Tapis roulant Métro Beaudry (Montréal)
Source : http://www.emdx.org/photos/20080308_Metro/

Le second tapis roulant, également constitué de deux rampes, a existé de 1960 à 2017 (Figure 10.8). Situé sur le campus de l'Université de Montréal, il reliait le boulevard Édouard-Montpetit, et maintenant la station de métro Université-de-Montréal, au Pavillon principal de l'Université, soit le pavillon Roger-Gaudry, situé sur le flanc du mont Royal.



Figure 10.8 : Tapis roulant Université de Montréal (Montréal)

Source : <http://www.panoramio.com/photo/98218782>

10.2.5 Train

Le train fait partie de l'histoire du Canada. C'est en 1830 qu'a été inauguré, en Nouvelle-Écosse, la première ligne de chemin de fer industriel du Canada. Six ans plus tard, soit en 1836, c'est le premier chemin de fer public, entre Saint-Jean-sur-Richelieu et La Prairie au Québec, qui était inauguré (St-Jacques, 2014).

Suivront plusieurs autres inaugurations, soit (St-Jacques, 2014) :

- la première ligne transfrontalière de l'Amérique du Nord entre Montréal et Portland dans le Maine (États-Unis) en 1853.
- la liaison ferroviaire entre Montréal (Québec) et Toronto (Ontario) en 1856.
- le chemin de fer Intercolonial reliant la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick au Québec et à l'Ontario (1 100 km) en 1876.
- la première traversée du Canada de Montréal à Port Moody (situé à 20 km de Vancouver) en 1886.

Le transport ferroviaire de personnes au Canada connaît un déclin au profit de l'automobile et de l'avion à partir de 1950 (St-Jacques, 2014).

Depuis 1977, c'est Via Rail qui s'occupe du transport des voyageurs entre les principales villes canadiennes. Dans la région de Montréal, c'est le Réseau de transport métropolitain (RTM

renommé Exo le 23 mai 2018) qui exploite les six lignes de trains de banlieue assurant une desserte entre les villes de Vaudreuil-Hudson; Mont-Saint-Hilaire; Deux-Montagnes; Candiac; St-Jérôme; et Mascouche vers le centre-ville de Montréal.

10.3 Comparaison entre Montréal et ailleurs dans le monde

Dans le but de savoir si Montréal a du retard à rattraper sur les autres grandes villes de la planète en termes de transport collectif, un comparatif des différents modes de transport a été fait par St-Jacques (2014).

10.3.1 Tramway

Les premiers tramways électriques ont fait leur apparition en Europe au début des années 1880.

À Montréal, le tout premier tramway électrique, le Rocket, a été mis en service le 21 septembre 1892. Il a été retiré en 1959.

La ville de Toronto (Ontario) a aussi eu sa première ligne de tramway électrique en 1892.

10.3.2 Trolleybus

La ville de Shanghai, en Chine, a des trolleybus depuis 1914.

Les villes américaines de San Francisco et Boston ont des trolleybus depuis 1935 et 1936.

Au Canada, la ville d'Edmonton a eu des trolleybus entre 1939 et 2009 et la ville de Vancouver en a depuis 1948.

Montréal est la première ville canadienne à en avoir eus, soit en 1937. Ils ont été retirés en 1966.

10.3.3 Funiculaire

Le funiculaire du Montjuic à Barcelone (Espagne), qui fait l'envie de biens des montréalais, est en opération depuis 1991.

Or, Montréal a déjà eu un funiculaire pour accéder au mont Royal, soit de 1885 à 1918.

Celui qui permet de passer de la Basse ville à la Haute ville dans le Vieux-Québec existe depuis 1879.

10.3.4 Métro aérien

Paris a un métro aérien depuis 1906.

Toronto, en Ontario, en a un depuis 1985. C'est la ligne de métro Scarborough RT.

Vancouver, en Colombie-Britannique, en a un depuis 1985 (Figure 10.9).



Figure 10.9 : SkyTrain de Vancouver (Colombie-Britannique)

Source : <https://designkultur.wordpress.com/2010/12/11/mass-transit-skytrain-vancouver-25-years-2010-12-11/doug-mckinlay-the-vancouver-skytrain-vancouver-british-columbia-canada/>

Kuala Lumpur, en Malaisie, en a un depuis 1998.

Bangkok, en Thaïlande, en a un depuis 1999.

New-York, aux États-Unis, en a un depuis 2003.

Mais Montréal a aussi un métro aérien, un monorail, depuis 1967 (Section 10.2.2).

10.3.5 Métro souterrain

Le plus vieux métro du monde (The Underground ou The Tube) a été inauguré à Londres, Royaume-Uni, en 1863. Il compte 270 stations pour une ville de 1 572 km² et une population d'environ 8 500 000 habitants.

Le métro de Paris (Figure 10.10) existe depuis 1900. Il offre 302 stations pour une ville de 105,4 km² et une population d'environ 2 250 000 habitants.

Le métro de New-York (The Subway) est le plus gros métro du monde (Figure 10.11). En opération depuis 1904, il totalise 469 stations pour une ville de 1 214 km² et une population d'environ 8 000 000 d'habitants.

Le métro de Toronto existe depuis 1954. Il compte 69 stations réparties sur 4 lignes pour une ville de 630,2 km² et une population d'environ 2 600 000 d'habitants.

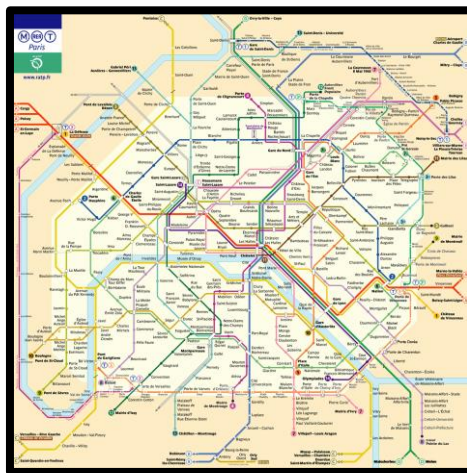


Figure 10.10 : Métro de Paris (France)

Source : www.ratp.fr



Figure 10.11 : Métro de New-York (États-Unis)

Source : Metropolitan Transportation Authority

Montréal a aussi son métro souterrain depuis 1966 (Figure 10.12). Il totalise 68 stations pour une ville de 499,2 km² et une population de près de 2 000 000 d'habitants. C'est le premier réseau de métro au monde entièrement sur pneumatiques.



Figure 10.12 : Métro de Montréal

Source : Société de Transport de Montréal

10.3.6 Train

La première voie ferrée au monde a été inaugurée en Angleterre en 1825.

Le premier chemin de fer industriel en France a été mis en opération en 1827.

Trois ans plus tard, en 1830, le premier chemin de fer industriel était inauguré au Canada, en Nouvelle-Écosse.

Le premier chemin de fer public existe depuis 1830 en Angleterre.

Six ans plus tard, en 1836, le premier chemin de fer public du Québec était en opération.

La France a eu sa première ligne de voyageurs en 1837. Le premier TGV français (Paris – Lyon) a été inauguré en 1981. L’Eurostar, qui relie Paris à Londres en 3h, existe depuis 1994.

Le premier TGV américain (Washington – New-York puis New-York – Boston) est en opération depuis 2000.

10.3.7 Conclusion

En résumé, Montréal, ou le Québec, a déjà été parmi les pionniers au niveau du transport en commun :

- Tramway électrique (1892);
- Tramway PAYE (*Pay As You Enter*) (1905);
- Trolleybus (1937);
- Funiculaire (1879);
- Métro souterrain sur pneumatiques (1966)
- Métro aérien (1967);
- Navette maritime (1860);
- Train (1830);
- Tapis roulant (1960).

Pourquoi Montréal est passé de premier à dernier? Est-ce dû à la poursuite du rêve américain : chacun sa voiture? C'est possible. Le Tableau 10.1 montre que malgré l'augmentation de la population, le nombre d'utilisateurs du transport en commun a considérablement baissé à Montréal avec les années pour ensuite remonter et se stabiliser dans les années 2010.

Le nombre d'utilisateurs est d'environ 400 000 000/année pour une population de 2 000 000 habitants. C'était le même nombre d'utilisateurs en 1940 mais pour une population de 905 000 habitants (Tableau 10.1).

La fiabilité du service de transport collectif de Montréal est parfois déficiente et certaines lignes de métro et d'autobus fonctionnent à capacité aux heures de pointe. Cela peut décourager certains utilisateurs potentiels et les encourager à prendre leur voiture.

Comment faire pour que Montréal redevienne avant-gardiste au niveau du transport urbain?

10.4 Modes de transport collectif innovateurs pour Montréal

Bien que des expériences étrangères de mise en service de funiculaires, trolleybus ou tramways aient été très positives, notamment en créant des espaces verts dans la ville (Figures 10.13 à 10.15), Montréal pourrait faire mieux.

Tableau 10.1 : Nombre d'utilisateurs du transport en commun à Montréal

| Année | Population de Montréal | Utilisateurs/an |
|-------|------------------------|--------------------|
| 1861 | 100 000 | 1 000 000 |
| 1890 | 250 000 | 8 000 000 |
| 1892 | | 10 000 000 |
| 1894 | | 20 000 000 |
| 1900 | 325 000 | 43 000 000 |
| 1905 | | 50 000 000 |
| 1910 | 490 000 | 100 000 000 |
| 1925 | | 230 000 000 |
| 1931 | 820 000 | 211 459 000 |
| 1940 | 905 000 | 400 000 000 |
| 1959 | 1 250 000 | 300 000 000 |
| 1970 | 1 215 000 | 260 000 000 |
| 2006 | 1 625 000 | 361 430 000 |
| 2011 | 1 650 000 | 404 800 000 |
| 2013 | 1 950 000 | 416 500 000 |
| 2014 | 1 990 000 | 417 200 000 |
| 2015 | 2 000 000 | 413 300 000 |

Sources : St-Jacques, 2014; STM, années diverses; Institut de la statistique du Québec, années diverses



Figure 10.13 : Ligne de tramway à Paris (France)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 10.14 : Ligne de tramway à Dijon (France)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 10.15 : Ligne de tramway à Bilbao (Espagne)

Photographie : Michèle St-Jacques

Montréal doit être plus créative si elle veut retrouver sa place de pionnier en transport en commun.

Parmi les modes de transport collectif innovateurs qui pourraient être implantés, il y a le tramway aérien, le straddling bus et le skytran.

10.4.1 Tramway aérien

Des tramways aériens, ou téléphériques, sont en opération dans plusieurs grandes villes du monde dont Lisbonne (Portugal), Porto (Portugal) (Figure 10.16), Londres (Angleterre), New-York (États-Unis) et Medellin (Colombie).

Un tel tramway pourrait être mis en place à Montréal. Il permettrait d’avoir des vues impressionnantes sur le fleuve Saint-Laurent ou le mont Royal.



Figure 10.16 : Tramway aérien Porto (Portugal)

Photographie : Michèle St-Jacques

10.4.2 Straddling bus

Le straddling bus est une sorte d’autobus qui passe par-dessus les voitures (Figure 10.17). D’une hauteur de 4,5 m, il circule sur des rails à une vitesse urbaine de 40 à 60 km/h. Il fonctionne à l’électricité et à l’énergie solaire grâce à des panneaux solaires.



Figure 10.17 : Straddling bus

Source : <http://wordlesstech.com/giant-lane-bus-coming-road-soon/>

Sa capacité est de 1 200 passagers. Ceux-ci accèdent au straddling bus via des stations aériennes (Figure 10.18).

Il a été développé pour Pékin, en Chine, qui est actuellement à la recherche de crédits financiers pour sa réalisation. Le coût de construction est estimé à environ 10% du coût de construction d'un métro conventionnel.

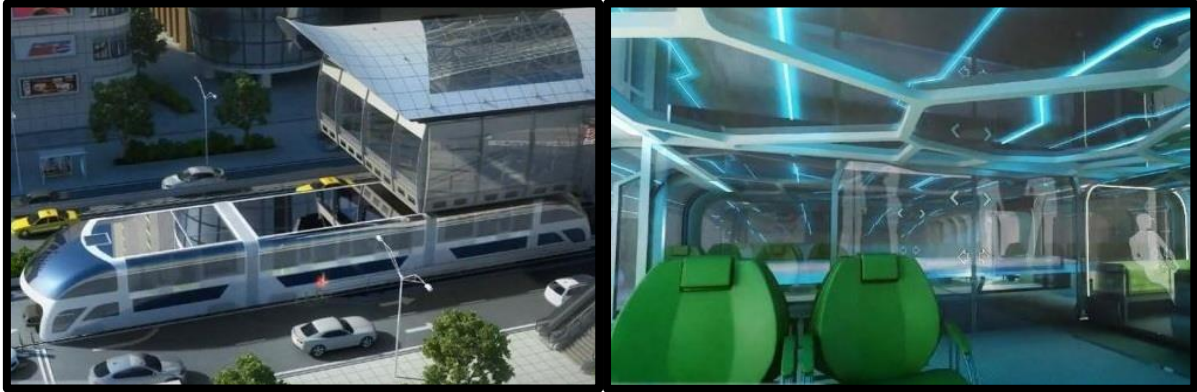


Figure 10.18 : Accès au straddling bus

Source : <http://wordlesstech.com/giant-lane-bus-coming-road-soon/>

Le straddling bus pourrait être mis en place sur les grands axes autoroutiers de Montréal tels l'A20, l'A720 et l'A40.

10.4.3 Skytran

Le skytran est un monorail avec des capsules de 2 à 4 personnes (Figure 10.19). Il a été développé par la NASA. C'est une technologie de suspension magnétique. Les capsules avancent grâce à des champs magnétiques.

Le skytran peut se déplacer à des vitesses dépassant les 100 km/h. La destination est choisie sur une console de bord.

Le coût de construction d'un skytran est dix fois moindre que celui d'une ligne de tramway conventionnelle.



Figure 10.19 : Skytran

Source : <http://www.saglamer.eu/skytran-objections-foire-aux-questions/>

Des projets sont à l'étude à Tel Aviv, en Israël, ainsi qu'en France (Toulouse, ADP-Paris), en Californie et en Inde.

Un tel mode de transport à Montréal ramènerait Montréal sur la scène internationale au niveau du transport collectif. Montréal a déjà été pionnier en termes de transport collectif, pourquoi elle ne le redeviendrait pas?

En attendant, diverses mesures peuvent être mises en place pour favoriser le transport en commun.

10.5 Mesures pour favoriser le transport collectif

10.5.1 Covoiturage

Le covoiturage est un mode de transport privé par lequel un groupe de personnes demeurant au même endroit, ou à proximité, ou le long d'une route commune, voyage ensemble entre leur résidence et leur lieu de travail (St-Jacques et Loïselle, 1985a).

La pratique du covoiturage n'est pas récente. Elle existe depuis l'avènement de l'automobile (Fleishman et Flusberg, 1982). Cette pratique a pris de l'ampleur surtout par souci d'économie individuelle en diminuant les frais de transport et en réduisant le nombre de véhicules requis. Divers intervenants, tels que les gouvernements, les municipalités et les employeurs, encouragent le covoiturage pour diminuer la pollution, les embouteillages et les espaces de stationnement; et économiser de l'énergie.

Le 22 juin 1983, l'Assemblée nationale du Québec a adopté la Loi 31 modifiant l'article 36 de la Loi sur les transports en autorisant la pratique du covoiturage entre le domicile et le lieu de travail ou d'études.

Afin de faire le point sur les expériences de covoiturage dans la région de Montréal, dix-huit mois plus tard, une enquête a été réalisée à l'automne 1984 par St-Jacques et Loiselle (1985a; 1985b; 1986a; 1986b). Les objectifs de l'étude consistaient à déterminer le profil du covoitureur et à connaître l'organisation, les avantages et les inconvénients de leur système de covoiturage. Au total, 1 201 covoitureurs ont été rejoints dans les entreprises, par des personnes-contacts ou par un organisme municipal (St-Jacques et Loiselle, 1985b).

De cette enquête, il est ressorti que les participants au covoiturage (St-Jacques et Loiselle, 1985b; St-Jacques et Loiselle, 1986a; St-Jacques et Loiselle, 1986b) :

- étaient des hommes dans une proportion de $65,3\% \pm 2,7\%$;
- étaient âgés entre 25 et 44 ans dans une proportion de $63\% \pm 2,5\%$;
- n'occupaient pas un poste de professionnel ou de cadre dans une proportion de $63,4\% \pm 2,7\%$;
- abritaient 2 adultes dans leur domicile ($60,2\% \pm 2,7\%$);
- possédaient 1 véhicule par domicile ($58,8\% \pm 2,8\%$).

La distance moyenne pour se rendre au lieu de travail était de 23 kilomètres avec un écart-type de 16 kilomètres. $51,9\% \pm 2,8\%$ des covoitureurs ont répondu qu'il y avait un système de transport en commun adéquat près de chez-eux. $58,7\% \pm 2,2\%$ des répondants utilisaient leur système de covoiturage depuis plus de douze mois. Le covoiturage était utilisé à l'aller et au retour dans une proportion de $86,3\% \pm 1,9\%$ et de façon régulière, soit tous les jours, dans une proportion de $74,4\% \pm 2,4\%$. Il n'y avait pas plus de conducteurs que de passagers. Par contre, plus du tiers des covoitureurs alternaient de rôle (St-Jacques et Loiselle, 1985b; St-Jacques et Loiselle, 1986a; St-Jacques et Loiselle, 1986b).

Les principales raisons pour faire du covoiturage étaient : la réduction des frais de transport ($42,4\% \pm 2,8\%$); la réduction du temps de déplacement ($16,5\% \pm 2,1\%$) et l'inadéquation du transport en commun ($14,2\% \pm 2,0\%$). Avant de faire du covoiturage, la moitié des répondants ($53,4\% \pm 2,8\%$) voyageait seul dans leur auto. Le nombre moyen de covoitureurs par véhicule

est de 3,1. Le covoiturage est fait avec des collègues de travail dans $80,5\% \pm 2,2\%$ des cas (St-Jacques et Loïselle, 1985b; St-Jacques et Loïselle, 1986a; St-Jacques et Loïselle, 1986b).

Plus des trois quarts des covoitureurs ($77,1\% \pm 2,4\%$) estimaient que leur service de covoiturage était très efficace. Le principal inconvénient du service de covoiturage est la dépendance entre les partenaires (St-Jacques et Loïselle, 1985b; St-Jacques et Loïselle, 1986a; St-Jacques et Loïselle, 1986b).

Parmi les mesures qui pourraient favoriser le covoiturage, il y a (St-Jacques et Loïselle, 1985b; St-Jacques et Loïselle, 1986a; St-Jacques et Loïselle, 1986b) :

- l'offre d'une aire de stationnement réservée;
- l'accès à une voie de circulation réservée;
- la mise en place d'une tarification privilégiée;
- la formation de groupes ou de clubs de covoitureurs.

St-Jacques a participé à la mise en place de certaines de ces mesures préférentielles en implantant le premier système de covoiturage à l'École Polytechnique de Montréal en 1982 (Granger et St-Jacques, 1983). Elle a aussi été chargée de projet en 1987 pour le réaménagement géométrique de l'autoroute des Laurentides (A15) dans le but d'élargir l'autoroute à quatre voies par direction entre les boulevards Henri-Bourassa, à Montréal, et St-Martin, à Laval (Annexe II). Cette quatrième voie est à l'usage exclusif des covoitureurs. C'est la première voie de circulation du genre à avoir été mise en place au Québec.

Selon la 10^e enquête origine-destination réalisée par l'Agence métropolitaine de transport en 2013, 70,7% des déplacements réalisés dans la grande région de Montréal sont effectués en voiture dont 81,6% à titre de conducteur (AMT, 2013).

10.5.2 Implantation de voies réservées pour le transport collectif

L'implantation de voies réservées pour le transport collectif permet de donner la priorité à certaines catégories d'usagers. Il y a des voies réservées qui servent aux autobus et aux taxis mais d'autres donnent aussi accès aux véhicules électriques et au covoiturage (Figure 10.20).

Ces voies réservées ont pour buts principaux de :

- diminuer les temps de parcours;

- favoriser le transport collectif;
- assurer une régularité du service;
- réduire les problèmes de congestion;
- baisser les demandes de stationnement dans les centres-villes.



Figure 10.20 : Voie réservée sur autoroute (A20, Montréal)

Photographie: Michèle St-Jacques

La plus ancienne voie réservée du Québec est celle du Pont Champlain. Exploitée par le Réseau de transport métropolitain (renommé Exo le 23 mai 2018), elle existe depuis 1978. Elle est fréquentée par 500 autobus (22 000 passagers) en période de pointe du matin, soit un autobus à toutes les 25 secondes (St-Jacques, 2014).

La première voie réservée sur autoroute au Québec a été mise en place sur l'A15 nord, entre Montréal et Laval, en 1988.

Dans la région de Montréal, il y a des voies réservées sur les autoroutes A25, A440 et A20. Il y en a aussi sur les principales artères des municipalités de la région de Montréal. L'étude réalisée par St-Jacques, Pellecuer et Turcot (2014 et 2015) a montré que 24% des municipalités de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) ont une voie réservée pour le transport collectif sur leur territoire (Figure 10.21).



Figure 10.21 : Voie réservée en milieu urbain (Brossard, Québec)

Photographie: Michèle St-Jacques

10.6 Conclusion

Montréal, ou le Québec, a déjà été parmi les pionniers au niveau du transport collectif. Il y a déjà eu des tramways (1892) et des trolleybus (1937) à Montréal. Il y a encore des funiculaires (1879 -), un métro aérien (1967 -), des navettes maritimes (1860 -), des trains (1830 -), des tapis roulants (1960 -) et un métro souterrain (1966 -). Le métro de Montréal est le premier métro souterrain au monde à circuler sur des pneumatiques.

Malgré l'augmentation de la population, le taux d'utilisation du transport en commun a toutefois stagné. Le nombre d'utilisateurs du transport en commun est sensiblement le même en 2015 qu'en 1940. Pourtant il y a le métro souterrain qui a été construit depuis et plusieurs nouvelles lignes d'autobus ont été ajoutées. La fiabilité du service de transport collectif de Montréal est parfois déficiente et certaines lignes de métro et d'autobus fonctionnent à capacité aux heures de pointe. Cela peut décourager certains utilisateurs potentiels et les encourager à prendre leur voiture.

Pour que Montréal redevienne avant-gardiste au niveau du transport collectif, des tramways aériens, des straddling bus et des skytran pourraient être aménagés à Montréal.

En attendant ces modes de transport collectif innovateurs, les municipalités du Québec peuvent favoriser le transport collectif sur leur territoire en encourageant le covoiturage et en implantant des voies réservées. Afin d'éviter toutes confusions pour les différents usagers du réseau routier, les voies réservées devraient, là où c'est possible, être en opération toute la journée et non juste durant certaines périodes de la journée.

Une image valant mille mots, la Figure 10.22 montre l'occupation du sol selon le mode de transport utilisé, soit la voiture solo, le vélo ou l'autobus.



Figure 10.22 : Occupation du sol selon le mode de transport

Source: @pumasproject

Cette Figure indique que si une bonne part des automobilistes de Montréal et du Québec délaisse leur véhicule particulier pour le transport collectif, la marche ou le vélo, de l'espace urbain peut être récupéré afin d'aménager des esplanades centrales comme celles qui se retrouvent en Europe.

Il restera juste à tenter de réduire les problèmes reliés au camionnage en milieu urbain. C'est ce qui fait l'objet du Chapitre 11.

CHAPITRE 11

CAMIONNAGE

11.0 Introduction

La problématique du camionnage en milieu urbain au Québec se retrouve à plusieurs niveaux, soit aux niveaux du bruit, des vibrations, du bris de mobiliers urbains, de la sécurité routière, de la congestion routière et de la déformation des chaussées.

Bien qu'ils entraînent de nombreux inconvénients, les camions sont toutefois indispensables à l'activité économique d'une ville. Ce chapitre tente de définir la problématique des camions en milieu urbain au Québec et de suggérer des pistes de solutions inspirées d'expériences étrangères (St-Jacques et Sicilia, 2018a; 2018b; et 2019).

11.1 Bruit causé par les véhicules lourds

Le bruit routier, associé au son provenant de la circulation routière roulant sur une chaussée, est l'une des formes de pollution les plus répandues. En plus d'être une nuisance, c'est un problème de santé publique puisqu'il peut affecter la qualité du sommeil. Selon la Politique québécoise sur le bruit routier, une approche corrective doit être appliquée pour une route existante lorsque le bruit routier (Leq, 24h) est égal ou supérieur à 65 dB(A). Au-dessus de ce seuil, la santé et la qualité de vie des gens peuvent être affectées.

Les deux principales sources de bruit routier se situent au niveau de la chaussée (bruit de roulement) et à environ 2,5 m au-dessus de la chaussée (échappement et moteur des camions lourds).

Le bruit routier est exprimé internationalement en dB(A), soit en décibels de pondération A qui correspond à une mesure du bruit représentative de la sensibilité selon l'oreille humaine (Section 7.1.6).

Parmi les véhicules qui se retrouvent en milieu urbain, ce sont les camions qui génèrent le plus de bruit routier. Des relevés réalisés sur le terrain en 2018 ont démontré que le bruit émis par un camion circulant en ligne droite est supérieur au bruit d'un klaxon (Tableau 11.1). Le

passage d'un camion en milieu urbain peut donc être dérangeant à certaines heures de la journée ou de la nuit.

Tableau 11.1 : Niveaux de bruit mesurés
Source : St-Jacques et Sicilia, 2019

| Bruit mesuré | |
|---------------------------------|-----------------------|
| Source de bruit | Niveau de bruit |
| Voiture particulière | 70 - 83 dB(A) |
| Motocyclette | 85 dB(A) |
| Klaxon de voiture | 95 - 103 dB(A) |
| Camion stationné | 78 dB(A) |
| Camion qui freine à un STOP | 88 dB(A) |
| Camion qui redémarre | 99 dB(A) |
| Camion qui tourne à droite | 91 dB(A) |
| Camion qui tourne à gauche | 100 dB(A) |
| Camion qui va tout droit | 112 dB(A) |

11.2 Vibrations causées par les véhicules lourds

Le bruit produit par le passage des véhicules lourds peut aussi provoquer des vibrations aériennes. Ces vibrations sont ressenties au niveau des fenêtres et des objets non fixés dans les bâtiments situés à proximité de la route.

En plus de ces vibrations aériennes, le passage de véhicules lourds sur une chaussée en mauvais état entraîne des ondes de contrainte qui se propagent dans le sol et qui peuvent atteindre les fondations des bâtiments adjacents en les faisant vibrer.

Les niveaux de vibrations sont habituellement évalués avec la méthode de la Federal Transit Administration du département des transports des États-Unis. Selon le ministère des Transports du Québec (Normandin, 2018), sur la rue Curatteau à Montréal, les vibrations causées par le passage des camions se rendant au Port de Montréal sont de l'ordre 0,44 mm/s à 1,11 mm/s. Ces vibrations dépassent le seuil de 0,10 mm/s établi par la Federal Transit Administration ainsi

que les normes de la Ville de Montréal qui spécifient que le niveau de vibrations à l'intérieur d'un logement doit être inférieur à 0,14 mm/s.

11.3 Gabarit des véhicules lourds

En milieu urbain, les véhicules lourds n'entraînent pas que du bruit et des vibrations, ils prennent aussi de l'espace. Si la hauteur et la largeur des véhicules lourds sont sensiblement les mêmes en Australie, au Japon, en Europe, aux États-Unis et au Canada, il en est autrement en ce qui concerne la longueur du véhicule (Tableau 11.2).

Tableau 11.2 : Dimensions maximales des camion selon les pays

| Dimensions maximales pour les véhicules lourds | | | | | |
|--|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|--|
| Pays ou Territoire | Hauteur | Largeur | Longueur | | |
| | | | Camion porteur | Véhicule articulé | Train routier |
| Australie | 4,30 m | 2,50 m | 12,50 m | 19,00 m | 19,00 - 53,50 m |
| Canada | 4,15 m | 2,60 m | 12,50 m | 23,00 - 23,50 m | 25,00 - 27,50 m |
| États-Unis | 4,08 - 4,38 m (13,6 - 14,6 pi) | environ 2,59 m (8,5 pi) | 12,00 - 18,00 m (40 - 60 pi) | 16 - 18 m (53 - 60 pi) | 14,6 ou 17,1 m (48 pi ou 2 fois 28 pi) |
| Europe | 4,00 m | 2,55 - 2,60 m | 12,00 m | 16,50 m | 18,75 m |
| Japon | 4,10 m | 2,50 m | 12,00 | 12,00 - 16,50 m | 18,00 m |

Sources : IRU, 2009; Big Truck Guide, 2014a et 2014b; Conseil des ministres responsables des transports et de la sécurité routière, 2014; U.S. Department of Transportation, 2015; NHVR, 2016; St-Jacques et Sicilia, 2019

Les camions européens (Figure 11.1) sont beaucoup moins longs que les camions canadiens (Figure 11.2).

Les longueurs des véhicules lourds présentées au Tableau 11.2 excluent les cabines. Or, les cabines des véhicules canadiens sont également beaucoup plus longues que celles des véhicules européens qui ont plutôt le nez écrasé (Figure 11.3).



Figure 11.1 : Véhicule lourd articulé (type tracteur avec semi-remorque) (Nantes, France)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 11.2 : Véhicule lourd articulé (type tracteur avec semi-remorque) (Montréal, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques



Figure 11.3 : Comparatif des cabines européenne et canadienne

Photographies : Michèle St-Jacques

Ainsi, même si la largeur des véhicules est sensiblement la même, la largeur hors-tout est différente car les véhicules canadiens ont des miroirs beaucoup plus gros pour que les camionneurs puissent voir leur remorque. Ils nécessitent donc des voies de circulation plus larges pour rouler sécuritairement et ne pas accrocher d'autres véhicules.

Les manœuvres de virage avec de tels véhicules n'est pas toujours aisée. En milieu urbain, les véhicules lourds ne circulent pas avec la même aisance que les autres véhicules à cause de leurs dimensions. Ainsi, lorsqu'un camion effectue un virage à gauche à une intersection, il a besoin de plus d'espace pour réaliser sa manœuvre qu'un véhicule particulier (Figure 11.4).

Le virage à droite est encore plus compliqué pour le camionneur car le rayon est encore plus serré que pour un virage à gauche. Dans un milieu très serré, cette manœuvre peut entraîner le bris de mobiliers urbains (luminaires, fûts de feux de circulation, bancs de parc, poubelles) ou d'arbres.



Figure 11.4 : Manœuvre de virage d'un camion au centre-ville de Montréal (Québec)

Photographie : Morgane Sicilia

11.4 Accidents impliquant des camions en milieu urbain

Les virages à droite aux carrefours en milieu urbain sont compliqués pour les camionneurs car ils n'ont pas d'espace mais, pire encore, ils ne voient pas toujours les usagers vulnérables, cyclistes ou piétons, qui se trouvent à leur droite. Il y a de larges zones d'angles morts où le conducteur a une visibilité très réduite. Cette zone est montrée à la Figure 11.5.

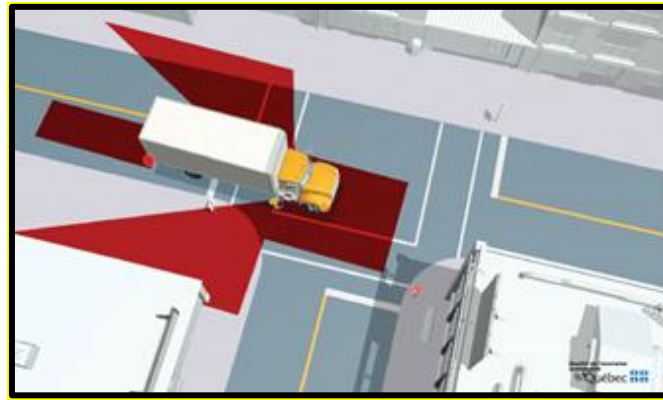


Figure 11.5 : Angles morts des camions

Source : <https://saaq.gouv.qc.ca/securite-routiere/comportements/angles-morts/angles-morts-pratiques-dangereuses/>

Bien que l'industrie du camionnage soit un pilier économique, son activité en milieu urbain pose des problèmes en matière de sécurité pour les usagers vulnérables (St-Jacques et Sicilia, 2018a; 2018b; et 2019). Les médias montréalais ont ainsi rapporté plusieurs accidents impliquant des véhicules lourds et des cyclistes ou des piétons au cours de la dernière année. Ces usagers vulnérables ont été grièvement blessés ou happés mortellement.

Selon les données de la SAAQ (Société d'assurance automobile du Québec), en 2016, les camions de plus grandes dimensions étaient impliqués dans 5% des accidents avec blessures graves (Figure 11.6) et dans 42% des accidents mortels impliquant des piétons ou des cyclistes (Figure 11.7). Il y a donc une surreprésentation des camions dans les accidents mortels impliquant les usagers vulnérables.

L'analyse des rapports d'accidents de la SAAQ (2011-2016) impliquant des usagers vulnérables et des camions, dans l'agglomération de Montréal, montre que la majorité des accidents (95%) se produisent lors des jours ouvrables (lundi à vendredi) et que près de 40% des accidents ont lieu durant la période de pointe du matin (07h00 à 10h00) (St-Jacques et Sicilia, 2019).

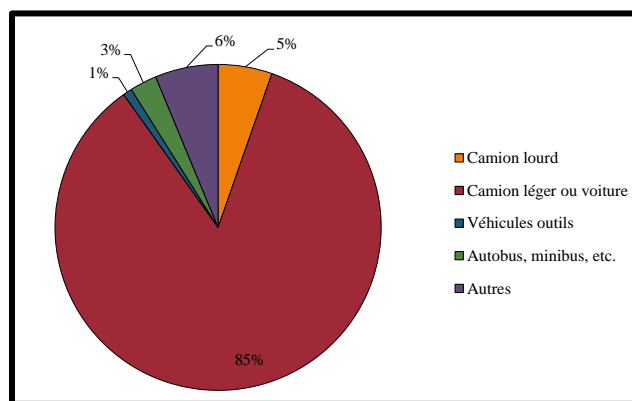


Figure 11.6 : Type de véhicule impliqué dans les accidents graves de cyclistes ou piétons

Source : Rapports d'accidents, 2016, Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ)

<https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/rapports-d-accident>

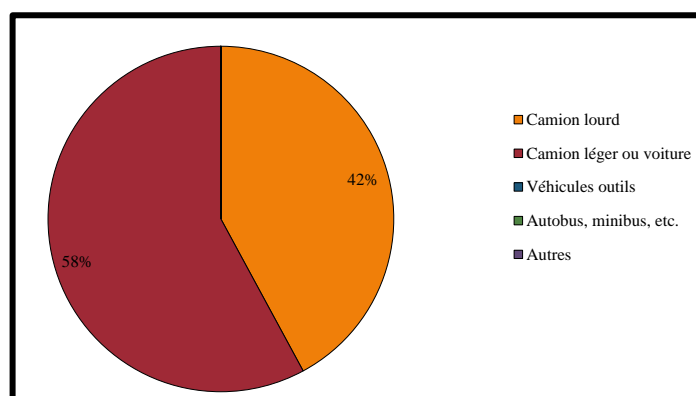


Figure 11.7 : Type de véhicule impliqué dans les accidents mortels de cyclistes ou piétons

Source : Rapports d'accidents, 2016, Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ)

<https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/rapports-d-accident>

Bien que, statistiquement, les camions soient surreprésentés dans les accidents mortels impliquant des piétons ou des cyclistes, leur circulation représente en plus un risque pour les usagers vulnérables qui ne sont pas conscients des angles morts des camions et de leur difficulté à effectuer des virages aux carrefours en milieu urbain.

11.5 Congestion routière

Les grandes villes mondiales font face au problème de la congestion routière et doivent trouver des solutions pour améliorer la circulation des marchandises et des personnes en milieu urbain (Sicilia, 2017).

Un véhicule lourd, de par sa taille et son poids, se déplace moins aisément qu'un véhicule particulier en milieu urbain. D'abord, il prend plus de place en largeur et en longueur qu'un véhicule particulier (Tableau 11.2). Son temps de réaction est aussi plus lent aux départs des arrêts et il avance moins rapidement s'il y a une pente. De plus, de par son gabarit, il coupe la visibilité aux véhicules qui se trouvent derrière lui et a de la difficulté à réaliser certaines manœuvres de virage.

De nombreux camions circulent sur le réseau routier québécois. L'industrie du camionnage est victime et contribue au phénomène de congestion routière qui s'intensifie avec le développement des villes et de leurs populations (Sicilia, 2017).

11.6 Déformation de la chaussée

Au Québec, les véhicules lourds circulent dans toutes les voies (Figure 11.8). Ce n'est pas comme en Europe où les véhicules circulent dans la voie de droite et ne vont dans les autres voies que pour faire des dépassements.



Figure 11.8 : Camions circulant dans toutes les voies au Québec

Photographies : Michèle St-Jacques

Les camions ne sont pas seulement gigantesques au Québec, ils sont aussi très lourds. Le Canada apparaît comme étant le pays autorisant la circulation des véhicules les plus lourds (camions porteurs, véhicules articulés et trains routiers) sur son réseau routier comme le montre le Tableau 11.3.

Tableau 11.3 : Comparaison des charges des véhicules lourds selon différents pays

| Charges maximales pour les véhicules lourds (en tonnes métriques) | | |
|--|--|--|
| Pays ou Territoire | Charge à l'essieu | Charge brute |
| Australie | 6,0 - 20,0 Selon le type ou groupe d'essieux | 15,0 - 42,5 (pour les véhicules ayant jusqu'à 6 essieux) |
| Canada | Variable en fonction du type d'essieux | 45,25 - 62,5 |
| États-Unis | 9,07 - 15,4 (20 000 – 34 000 livres) | 36,29 (80 000 livres) |
| Europe | 10,0 - 11,5 | 18,0 – 44,0 |
| Japon | 10,0 | 20,0 – 25,0 |

Sources : IRU, 2009; Conseil des ministres responsables des transports et de la sécurité routière, 2014; U.S. Department of Transportation, 2015; NHVR, 2016; MLIT, 2017; Sicilia, 2017; St-Jacques et Sicilia, 2019

Le réseau routier québécois est très sollicité. Les nombreux déplacements de véhicules lourds viennent ajouter de la pression sur un réseau vieillissant. Le passage d'un seul véhicule lourd équivaut, selon son chargement, au passage de 20 000 à 30 000 véhicules particuliers (St-Jacques et Sicilia, 2018a; 2018b; et 2019). Par conséquent, le passage quotidien de nombreux véhicules lourds a nécessairement un impact sur l'intégrité des infrastructures routières (chaussée et revêtement). Un véhicule lourd sollicitera davantage le revêtement de la chaussée au moment de son démarrage et de son arrêt. Or, en milieu urbain la circulation n'est pas toujours fluide en raison de la congestion ainsi que des intersections signalisées. De ce fait, le véhicule lourd circulant en milieu urbain marquera plus souvent des arrêts/redémarrages qu'un véhicule lourd circulant sur le réseau routier en milieu rural, ou bien sur le réseau autoroutier. Ceci contribue grandement à la déformation de la chaussée en entraînant notamment des ornières (Figure 11.9).



Figure 11.9 : Présence d’ornières sur la chaussée

Photographie : Michèle St-Jacques

11.7 Nécessité du camionnage en milieu urbain

Il existe trois types de véhicules lourds en milieu urbain, soit les véhicules commerciaux qui transportent des produits de consommation ; les véhicules municipaux ou d’utilité publique (camion pour le ramassage des ordures, pour le déneigement, etc.) ; et les véhicules de transport en commun (autobus, autocars). Les véhicules lourds ont donc des usages divers qui contribuent au fonctionnement de la société.

Selon Magali Amiel de CargoM, au Québec, 64% des entreprises du secteur de la logistique et du transport de marchandises sont situées dans la grande région de Montréal (Amiel, 2018). La région de Montréal génère donc les deux tiers de tous les camions interurbains du Québec (Niro, 2018).

Le camionnage en milieu urbain est une nécessité pour l’approvisionnement des commerces en denrées et en produits ainsi que pour les besoins des différents chantiers de construction. Normand Bourque, de l’Association de Camionnage du Québec, précise que le prix de l’immobilier limite la capacité de stockage des enseignes commerciales et qu’un supermarché de denrées alimentaires peut être approvisionné par cinq à sept camions par jour, compte-tenu de la diversité des produits de consommation.

Bien que le camionnage génère certaines nuisances en milieu urbain, il constitue souvent le dernier maillon de la chaîne d’approvisionnement et joue ainsi un rôle capital dans l’acheminement des marchandises jusqu’aux consommateurs.

Il est donc indispensable de trouver une façon d'intégrer ces véhicules et leurs activités en milieu urbain et de rendre leur présence moins dérangeante pour les autres usagers de la route.

11.8 Pistes de solutions inspirées des expériences étrangères

En se référant aux expériences étrangères, différentes solutions peuvent être mises en place pour faciliter la circulation des camions en milieu urbain au Québec (St-Jacques et Sicilia, 2018a; 2018b; et 2019).

11.8.1 Mises en place de dispositifs de protection latérale, frontale et arrière sur les camions

La présence de camions aux dimensions imposantes est parfois mal perçue par les citoyens et les usagers vulnérables en milieu urbain. Sans régler tous les problèmes, le fait d'imposer l'utilisation de barres de protection latérale rigides sur tous les camions circulant en milieu urbain pourrait déjà être un pas dans la bonne direction (Figure 11.10). En plus de protéger les usagers vulnérables, ces protections peuvent atténuer la gravité des collisions entre une voiture et la partie latérale d'un camion.



Figure 11.10 : Barre de protection latérale rigide sous un camion

Photographie : Michèle St-Jacques

Ces barres de protection latérale rigides sont obligatoires depuis 1989 en Europe (Figure 11.11), suite à l'adoption de la *Directive 89/297/CEE* puis du *Règlement (CE) n°661/2009* (Union européenne. Parlement européen. À jour au 20 août 2009), pour les véhicules des catégories N2, N3, O3 et O4, soit les véhicules et les remorques dont le poids maximal est supérieur à 3,5 tonnes métriques (Sicilia, 2017).



Figure 11.11 : Camion équipé de protections latérales (Londres, Angleterre)

Photographie : Morgane Sicilia

Au Québec, bien que certains véhicules lourds soient équipés de barres de protection latérale, ce dispositif n'est pas obligatoire. Il faut toutefois faire attention de ne pas confondre ces barres latérales qui assurent la sécurité des usagers de la route avec les dispositifs qui permettant de réduire la consommation de carburant des camions en améliorant l'aérodynamisme du véhicule (Figure 11.12). En 2014, la Ville de Montréal s'est donné pour objectif d'équiper une partie de sa flotte de véhicules lourds de dispositifs de protection latérale (Sioui, 2014).



Figure 11.12 : Camion équipé d'un dispositif aérodynamique (Saint-Sauveur-des-Monts, Québec)

Photographie : Michèle St-Jacques

En plus des barres de protections latérales, il existe des dispositifs de protections avant et arrière qui permettent de réduire l'impact en cas de collision avec l'avant ou l'arrière du véhicule. Ces dispositifs permettent ainsi, en cas de collisions, d'éviter que la voiture passe sous le camion et

cause des blessures graves aux occupants du véhicule. Il s'agit souvent d'un système constitué de barres de métal (Figure 11.13).



Figure 11.13 : Protection contre l'encastrement située à l'arrière d'un camion (Montréal, Québec)

Photographie : Morgane Sicilia

11.8.2 Utilisation de rétroviseurs et de caméras réduisant les angles morts des camions

Améliorer la visibilité du conducteur dans les angles morts du véhicule est indispensable en milieu urbain, car les usagers vulnérables sont plus nombreux et le risque d'accident plus élevé.

En Europe, depuis la *Directive 2003/97/CE*, des exigences en matière de visibilité des véhicules de catégories M (véhicules affectés au transport de passagers) et N (véhicules affectés au transport de marchandises) ont été mises en place. Cette Directive concernait les rétroviseurs sur les nouveaux véhicules. Elle a été suivie par la *Directive 2007/38/CE* (Union européenne. Parlement européen. À jour au 6 août 2008) qui vise à imposer aux véhicules déjà en circulation d'être équipés de dispositifs permettant d'améliorer la visibilité indirecte des conducteurs. En plus des rétroviseurs, les caméras ont la possibilité d'améliorer la visibilité indirecte du conducteur.

D'abord présentes sur les véhicules particuliers, il semble, selon une étude réalisée par l'Union européenne en 2011, que les caméras présentent plus d'avantages que les rétroviseurs anti angles morts.

Au Québec, en particulier sur l'île de Montréal, certains Services de Travaux publics ont mis en place des véhicules prototypes afin d'étudier l'intérêt des caméras pour des véhicules municipaux (camions de déneigement, etc.).

11.8.3 Amélioration de la visibilité directe du conducteur – Principe de « Direct Vision »

De nombreuses études mettent en évidence la nécessité d'améliorer en priorité la visibilité directe du conducteur en appliquant le principe de « Direct Vision » développé par plusieurs chercheurs (Summerskill et Marshall, 2014 et 2015).

Le principe de « Direct Vision » considère que plutôt que d'ajouter de nombreux miroirs ou rétroviseurs afin de donner plus de visibilité au conducteur, il est plus intéressant de transformer la cabine du véhicule afin d'agrandir son champ de vision directe (Transport & Environment, FKA, 2011; Sicilia, 2017; St-Jacques et Sicilia, 2018a; 2018b; et 2019).

Les prototypes étudiés sont dotés de zones vitrées au niveau du bas de la cabine permettant ainsi au conducteur de pouvoir repérer d'éventuels cyclistes ou piétons. D'autres prototypes donnent également au conducteur un siège plus central, réduisant son angle mort du côté passager. Bien que ce principe soit à l'étude, il peut représenter une innovation remarquable en matière de conduite des véhicules lourds ainsi qu'en matière d'aménagement de l'espace de la cabine du conducteur.

Le principe de « Direct Vision » a été appliqué pour les véhicules de ramassage d'ordures de certaines villes danoises, dont Copenhague. Il a également été appliqué à Londres pour les autobus (Figure 11.14).

Le principal défi de cette innovation en matière de conception des camions est d'inciter l'ensemble des constructeurs à modifier le design de leurs véhicules. Cependant, en matière d'amélioration de la sécurité des usagers vulnérables, cette transformation serait très positive et adaptée au milieu urbain.



Figure 11.14 : Autobus appliquant le principe de « Direct Vision » (Londres, Angleterre)

Photographies : Morgane Sicilia

11.8.4 Gestion du fret urbain

Certaines villes ou pays ont mis en place des mesures pour limiter le passage des véhicules lourds, selon leurs poids et leurs dimensions, sur leur réseau routier.

Ainsi, en France, les véhicules lourds dont le poids est supérieur à 7,5 t n'ont pas le droit de circuler sur le réseau routier national du samedi 22h00 au dimanche 22h00 ainsi que les jours fériés et les samedis des vacances estivales (Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2016). De plus, certains secteurs du réseau routier de l'Île-de-France ont des restrictions supplémentaires permanentes (Tableau 11.4).

De plus, les véhicules lourds circulant sur le réseau routier français ne peuvent pas dépasser la vitesse de 90 km/h, selon le *Décret n°2006-1812* (République Française, à jour au 30 août 2017), pour des raisons de sécurité routière.

Au Royaume-Uni, la Ville de Londres a mis en place en 1985 un plan spécifique pour la circulation des véhicules lourds : le London Lorry Control Scheme (LLCS). Ce plan avait pour objectif de réduire les nuisances sonores des camions durant la nuit (21h00 – 07h00) et les jours de fin de semaine. Il s'applique sur l'ensemble des arrondissements du Grand Londres et est conçu pour que les véhicules lourds de plus de 18 tonnes ne puissent pas circuler sans autorisation sur certaines routes du réseau (London Councils, 2017). Ainsi, les camions doivent obtenir une autorisation pour circuler sur le réseau RRN (Restricted Roads Network). Par contre, ils peuvent circuler sans restriction ou permis sur le réseau ERN (Excluded Roads Network).

Tableau 11.4 : Interdictions supplémentaires des véhicules lourds en Île-de-France

| Horaires spécifiques d'interdictions en Île-de-France (intégrant la réglementation générale – hors cinq samedis d'été) | | |
|---|--------------------------------|----------------------------|
| Jour | Paris vers Province | Province vers Paris |
| Lundi | - | 06h00 – 10h00 |
| Vendredi | 16h00 – 21h00 | - |
| Samedi | 10h00 – 18h00 22h00 – 24h00 | 22h00 – 24h00 |
| Dimanche | 00h00 - 24h00 | 00h00 - 24h00 |
| Veille de jour férié | 16h00 – 24h00 | 22h00 – 24h00 |
| Jour férié | 00h00 – 24h00 | 00h00 – 24h00 |
| Lendemain de jour férié | - | 06h00 – 10h00 |

La Ville de New-York (USA) a mis en place un schéma comparable en obligeant les véhicules lourds à n'emprunter que certains axes. Cette restriction est due aux infrastructures (routes aériennes, ponts, tunnels) qui ne peuvent pas supporter tous les véhicules à cause de leurs poids ou dimensions.

La Ville d'Ottawa (Ontario, Canada) possède un plan de camionnage qui indique aux véhicules lourds quels itinéraires emprunter pour parcourir le territoire tout en limitant l'impact de leur passage sur le milieu. Ce type de plan permet de limiter les nuisances et d'optimiser le déplacement des camions en milieu urbain.

La Ville de Vancouver (Colombie-Britannique, Canada) possède aussi un plan de camionnage. Ce plan indique les tronçons désignés pour le camionnage et ceux où il est restreint. Il donne

également des prescriptions supplémentaires aux niveaux des dimensions et poids des véhicules.

La Ville de Montréal possède également un plan de camionnage qui précise quels sont les axes routiers soumis à des restrictions. Ce plan informe les camionneurs des zones où la circulation leur est interdite afin qu'ils puissent adapter leur itinéraire. Les camions peuvent circuler sur certaines routes entre 07h00 et 19h00, et d'autres routes leurs sont accessibles en permanence. Des panneaux de signalisation indiquent quels sont les tronçons routiers autorisés ou non pour la circulation des camions. Ce plan de camionnage est actuellement en révision afin d'améliorer la sécurité des usagers vulnérables (piétons, cyclistes), réduire les nuisances dues aux véhicules lourds et optimiser les déplacements des camions sur le réseau routier municipal.

En Australie, les véhicules lourds doivent être équipés de suspensions certifiées « road friendly », moins agressives pour la chaussée et le revêtement, et doivent circuler seulement sur les routes qui autorisent ces limites de poids (NHVR, 2013).

Les véhicules lourds ont besoin d'accéder au réseau routier afin d'acheminer les marchandises qu'ils transportent. Il est donc primordial, surtout pour les grandes villes par lesquelles transitent des flux de marchandises considérables, de trouver des itinéraires pour les camions qui sont les principaux générateurs de ces flux. Il faut mieux organiser le déplacement des véhicules lourds sans perturber la stabilité économique de l'Industrie du camionnage et du transport de marchandises. De plus, en limitant la circulation des véhicules lourds sur certaines voies de circulation (par exemple sur la voie de droite seulement), il est possible de prévenir les dommages à la chaussée et au revêtement sur ces voies en les concevant en conséquence. Les interventions d'entretien seraient ainsi diminuées.

Le problème posé par les véhicules de transport de marchandises est également dû aux horaires de livraison qui correspondent souvent aux périodes de congestion routière. Pour améliorer la situation et optimiser les parcours des véhicules de livraison en milieu urbain, plusieurs villes ont mis en place des programmes de livraison en dehors des périodes de fort achalandage. Pendant les Jeux Olympiques de 2012, la Ville de Londres (Royaume-Uni) a mis en place un projet pour que les livraisons de marchandises en ville aient lieu en dehors des périodes d'achalandage. La Ville est actuellement en réflexion sur l'implantation de mesures strictes pour éliminer les véhicules lourds pendant certaines plages horaires, et le programme de livraisons hors périodes de congestion est maintenu (LaBelle et al, 2016).

Entre 2009 et 2010, la Ville de New-York (USA) a réalisé un projet pilote sur l'intérêt de réaliser les livraisons de marchandises en ville en dehors des périodes de congestion routière. Les participants ont accepté de déplacer leurs plages horaires de livraisons pour opérer entre 19h00 le soir et 06h00 le matin. Les entreprises participantes recevaient moins de livraisons pendant la journée (période d'ouverture du magasin) et étaient davantage concentrées sur leurs clients (NYC DOT, 2017). Le personnel était également plus productif puisqu'il n'avait pas à attendre une livraison qui était bloquée dans la circulation. Les entreprises de livraisons ont réalisé que leurs parcours étaient plus optimaux. Les véhicules réalisaient plus de livraisons dans un délai équivalent par rapport à avant. Cette optimisation représentait également des économies financières sur le prix du carburant. De plus, cela permettait une réduction de la flotte de véhicules utilisés en journée puisqu'il y avait un équilibre entre les livraisons de jour et celles de nuit. Les places de stationnement étaient également plus nombreuses en dehors des périodes de fort achalandage. Suite au succès de ce projet pilote, le Department of Transportation de New-York a décidé de continuer l'expérience et de poursuivre ce programme (NYC DOT, 2010).

Afin d'améliorer la circulation des véhicules de livraison/transport de marchandises, il existe un nombre important de moyens et de méthodes à l'échelle mondiale. Certains modèles s'appliquent mieux que d'autres à la situation de la ville qui choisit de l'adopter. Il est donc nécessaire d'étudier un modèle et de l'évaluer sur une petite échelle (projet pilote) avant de l'imposer sur le territoire. En revanche, avec l'évolution des villes et de leurs activités, il est indispensable de trouver de nouvelles manières de résoudre les problèmes qui peuvent survenir.

11.8.5 Utilisation de camions de plus petit gabarit en milieu urbain

En milieu urbain, le réseau routier comporte de nombreuses intersections et des règles de circulation spécifiques (feux de circulation, priorité aux piétons au niveau des intersections, etc.). Il fait cohabiter différents usagers (piétons, vélos, camions, etc.) et les véhicules aux dimensions imposantes circulent avec difficulté sur certains axes. Optimiser les déplacements des véhicules lourds en milieu urbain peut permettre de réduire la congestion routière tout en facilitant le travail des conducteurs qui effectuent des livraisons.

À travers le monde, il existe plusieurs modèles et pratiques qui permettent d'optimiser les déplacements des véhicules lourds. Tous les véhicules ne sont pas conçus pour la même tâche.

En France, les véhicules lourds de type semi-remorque sont peu fréquents en milieu urbain à cause de leurs dimensions et de la difficulté qu'ils ont pour manœuvrer en ville. De plus, certains axes routiers sont interdits aux véhicules en fonction de leur poids total avec chargement.

Ainsi, dans certaines villes européennes telles que Londres, Paris ou Copenhague, la grosseur des camions circulant en milieu urbain est limitée. La marchandise est d'abord regroupée à un endroit puis redistribuée en ville avec des véhicules de plus petit gabarit adaptés au milieu urbain.

La notion de « dernier kilomètre » joue un rôle important dans l'organisation logistique. Le « dernier kilomètre » désigne la fin de la chaîne de livraison des marchandises ou des produits. Il correspond aux derniers kilomètres à parcourir pour apporter le produit jusqu'à sa destination finale (Morana et Gonzalez-Feliu, 2010). C'est cette partie de la chaîne logistique qui est la plus coûteuse car les entreprises de transport doivent faire face à la congestion routière et aux exigences environnementales (pollution, bruit).

En Europe, plusieurs acteurs de la chaîne du « dernier kilomètre » ont mis en place des mesures pour innover en matière de logistique et de transport sur le dernier kilomètre. Ces innovations peuvent consister en l'utilisation de véhicules plus légers et non polluants, ou alors en l'utilisation d'alternatives dans la chaîne logistique. Ainsi de nouveaux véhicules sont apparus dans les grandes villes dont des triporteurs électriques, des drones et même des tramways.

Adapter les véhicules au milieu et au réseau routier pourrait permettre de diminuer la congestion mais aussi assurer plus de sécurité aux usagers vulnérables.

11.9 Conclusion

La cohabitation entre les véhicules lourds et les autres usagers de la route est parfois ardue en milieu urbain. Certains pays et villes ont mis en place des règles et des mesures afin de réduire les impacts négatifs des camions (dégradation de la chaussée, pollution, bruit), améliorer l'efficacité de la logistique urbaine ainsi que la cohabitation entre les usagers vulnérables et les véhicules lourds.

Les lois, normes et règlements sont des éléments indispensables pour créer un environnement structuré pour le camionnage, réduire les nuisances qu'ils génèrent et augmenter leur sécurité. Les décideurs publics (ministères des Transports provinciaux et fédéraux, municipalités, villes et arrondissements) doivent créer un cadre législatif rendant obligatoire l'équipement de différents dispositifs permettant d'améliorer la sécurité des véhicules lourds en milieu urbain tels que les barres de protections latérales rigides.

Comme les véhicules lourds disposent d'angles morts importants, certains manufacturiers proposent des solutions pour permettre aux conducteurs d'avoir une meilleure visibilité ; par exemple en équipant les véhicules de caméras et d'écrans de visualisation, ainsi que de capteurs de présence.

Plusieurs études européennes suggèrent aux constructeurs d'adopter les principes du concept de « Direct Vision » en :

- Améliorant la visibilité directe du conducteur par le biais d'un pare-brise qui descend plus bas, ainsi que des parois vitrées situées au bas du plancher de la cabine et à la hauteur du visage des piétons ou des cyclistes.
- Abaisant la cabine du conducteur afin que celui-ci ait une meilleure visibilité et soit plus proche du sol.

L'optimisation des déplacements des camions en milieu urbain est essentielle pour diminuer la congestion routière et améliorer l'efficacité de l'industrie du transport des marchandises qui est affectée par les embouteillages.

Certaines mesures pourraient être mises en place au Québec pour augmenter la sécurité du camionnage en milieu urbain, soit :

- Inciter les municipalités à doter leurs véhicules municipaux de dispositifs de protection latérale et de caméras pour que les conducteurs puissent voir ce qui se passe au niveau des angles morts.
- S'inspirer du Danemark et étudier la possibilité d'améliorer la visibilité directe des véhicules municipaux (pare-brise plus long, cabine abaissée).

- Réunir les acteurs de l'industrie du camionnage pour mettre à l'essai un programme de livraisons/déplacements en dehors des périodes de congestion.
- Adopter un plan de circulation alternée pour les véhicules lourds, de sorte à ce que les voies de circulation puissent se reposer dans la journée ou limiter la circulation des camions à une seule voie conçue en conséquence.
- Inciter le gouvernement fédéral à rendre certains dispositifs obligatoires pour les véhicules circulant sur le territoire canadien (protections latérales, dispositifs contre l'encastrement à l'avant, rétroviseurs grands angles.
- Réaliser des campagnes pour inciter l'ensemble des usagers de la route à plus de respect les uns envers les autres afin de contribuer à une saine cohabitation.
- Discuter avec les acteurs de l'industrie du camionnage et étudier la possibilité d'interdire la circulation de certains véhicules selon leur tonnage.

Le camionnage en milieu urbain est essentiel. Il faut donc trouver le moyen de faire cohabiter les camions en milieu urbain en réduisant au maximum les nuisances, en optimisant leurs déplacements et en assurant la sécurité de tous les usagers de la route.

Parallèlement à cela, si les municipalités réussissent à rendre les déplacements des piétons et des cyclistes agréables, fonctionnels et sécuritaires, la proportion d'adeptes du transport actif augmentera et cela contribuera à rendre les villes plus animées (Chapitre 9).

L'aménagement de traverses piétonnes de type Barnes Dance facilite la traversée des piétons aux carrefours signalisés en plus d'améliorer leur sécurité en éliminant les conflits avec les véhicules motorisés.

Des voies piétonnes larges et bien situées favorisent les déplacements à pied. Des équipements sportifs installés le long de ces voies incitent à l'activité physique et peuvent encourager les déplacements à pied plutôt qu'en voiture.

Les cyclistes doivent avoir leurs propres voies de circulation et ne pas emprunter les voies piétonnes. Ils doivent être visibles des autres usagers de la route. L'aménagement de sas vélos prioritaires permet de voir les cyclistes aux carrefours.

Les municipalités doivent aussi considérer le vélo comme un mode de transport utilitaire et non plus juste récréatif. Elles doivent donc créer un réseau cyclable étendu, direct, uniforme, sécuritaire, confortable, attrayant, éclairé et entretenu en toutes saisons. Ce réseau peut être distinct du réseau cyclable récréatif.

En plus des mesures pour favoriser le transport actif, les municipalités doivent aussi trouver le moyen d'encourager le transport collectif sur leur territoire en offrant un service de transport en commun attirant, fiable et avec suffisamment de fréquence et de capacité pour répondre aux besoins des citoyens (Chapitre 10).

CONCLUSION

CONCLUSION

La route peut être belle. Elle est souvent la première image que les conducteurs ont de la ville. La route doit mettre en valeur le territoire qu'elle traverse et desservir adéquatement les communautés avoisinantes. La construction d'une route ne doit plus relever seulement de l'ingénieur civil. Elle doit aussi, idéalement, impliquer un urbaniste et un architecte de paysage.

La route accueille des usagers variés : piétons, cyclistes, automobilistes, camionneurs, utilisateurs du transport en commun. Elle doit donc :

- faire une place à chacun;
- réussir à les faire cohabiter;
- assurer leur sécurité.

Afin d'assurer la sécurité de tous, dans les villes, il faut limiter la vitesse de circulation des véhicules motorisés. La signalisation seule ne fait pas ralentir les conducteurs. Les villes doivent donc réaliser des aménagements physiques modérateurs de la circulation. L'aménagement des différentes voies et de ses abords influence le comportement des conducteurs en ville.

L'amélioration de la sécurité routière dans les villes passe par:

- la modération de la circulation;
- un meilleur équilibre entre les modes de transport;
- une redistribution de l'espace au bénéfice de la vie locale (RGRA, 1995).

En 2019, il ne faut plus planifier ou concevoir la route par spécialités, en silos, mais la considérer « dans sa globalité » afin :

- qu'elle s'intègre bien au milieu traversé;
- que chaque usager y trouve sa place;
- qu'elle réponde aux besoins de la communauté;
- qu'elle tienne compte de l'environnement.

Cette thèse ne traite pas d'un seul sujet mais d'une multitude de sujets dont :

- les analyses de la circulation;

- les carrefours giratoires;
- la signalisation;
- les stationnements;
- la modération de la circulation en milieu urbain;
- les revêtements bitumineux colorés;
- les techniques routières urbaines répondant à des critères de développement durable;
- les enrobés tièdes;
- le transport actif;
- le transport collectif;
- le camionnage.

Bien qu'il y ait une multitude de sujets, ils sont tous reliés entre eux car ils sont tous des composantes de la route. Ils sont des éléments de géométrie; des matériaux utilisés pour concevoir la route; des dispositifs, des mesures ou des aménagements pour faciliter la circulation et la rendre plus sécuritaire. Ce sont tous des éléments qui doivent être pris en considération afin que tous les utilisateurs puissent cohabiter en sécurité et dans le respect de l'environnement.

Cette thèse, basée sur plus de trente ans d'expériences, d'études, de lectures, d'enseignements, de réalisations de projets et d'observations à travers le monde, est en quelque sorte un « Guide des bonnes pratiques pour réaliser des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières urbaines dans une perspective de gestion durable de la voirie ». Plusieurs conclusions et recommandations peuvent être tirées de cette thèse pour chacun des sujets traités.

Analyses de la circulation

D'abord, avant de réaliser tout projet routier, plusieurs analyses sont nécessaires afin de bien connaître le territoire à l'étude et de bien évaluer les besoins des usagers actuels et futurs.

Plusieurs données doivent être relevées sur le terrain et plusieurs calculs doivent être faits avant d'utiliser les divers logiciels mis à la disposition des concepteurs routiers pour effectuer les différentes analyses. Afin d'obtenir des résultats optimaux en utilisant des logiciels, il est très important de modifier tous les paramètres par défaut du logiciel et de les remplacer par les valeurs mesurées et calculées pour le site analysé.

Carrefours giratoires

Bien que très populaires en Europe et ailleurs dans le monde depuis les années 1980, ce n'est qu'à la fin des années 1990 que les carrefours giratoires ont fait leur apparition au Québec. Il y a maintenant plus d'une centaine de carrefours giratoires au Québec. Ceux-ci se retrouvent autant en milieu rural qu'en milieu urbain ou suburbain.

Malgré le fait que le nombre de constructions de carrefour giratoire est toujours en progression, aucune campagne de sensibilisation n'a encore été réalisée à l'échelle provinciale au Québec. Les québécois doivent se référer au site internet du ministère des Transports du Québec pour voir le comportement à adopter dans un tel aménagement.

Or, une analyse du comportement des usagers québécois, réalisée à partir d'observations aux différents carrefours giratoires du Québec et d'extraits vidéo, a montré qu'un comportement erratique pouvant entraîner un accident est observé à toutes les minutes dans les carrefours giratoires québécois. Plus des trois quarts des mauvais comportements observés sont dus à la méconnaissance de la règle de priorité à l'anneau, principe de base du carrefour giratoire.

Bien que les carrefours giratoires permettent de réduire la gravité des accidents à un carrefour, ils seraient encore plus sécuritaires si les utilisateurs savaient comment s'y comporter. Il devrait donc y avoir une campagne d'information provinciale sur le comportement à adopter dans un carrefour giratoire. De plus, il devrait y avoir une uniformité au niveau de la signalisation utilisée dans les carrefours giratoires québécois comme c'est le cas en Europe. Ce n'est pas le cas actuellement au Québec. L'uniformité pourrait aider à la compréhension du comportement à adopter.

Signalisation

Cinq types de signalisation ont été discutés dans cette thèse, soit la signalisation lumineuse; la signalisation horizontale; la signalisation verticale; la supersignalisation dont plus particulièrement les plaques ononymiques; et la signalisation de travaux actuellement utilisée au Québec. Certaines recommandations ont été faites.

Signalisation lumineuse

Le concepteur routier ne doit jamais oublier qu'un feu de circulation :

- c'est inesthétique;
- ça entraîne des retards;
- ça entraîne de la pollution;
- ça entraîne des frustrations;
- c'est coûteux (pour une vitesse d'approche de 50 km/h et un coût de carburant à 1,50\$/litre, un carrefour à feux entraîne des coûts annuels de 197 375\$ en consommation d'énergie par rapport à 19 325\$ pour un carrefour giratoire avec Cédéz).
- ça peut être utile seulement 250 heures/année, soit 3 % du temps si c'est nécessaire juste une heure par jour du lundi au vendredi hors vacances (250 heures sur un total de 8 760 heures annuellement).

Ainsi, si des feux de circulation doivent réellement être installés pour des raisons de capacité ou de sécurité, des mesures doivent être prises afin de minimiser les inconvénients liés à l'installation de ces feux. L'installation de boucles de détection sur l'artère secondaire et la synchronisation des feux de circulation sur l'artère principale sont des mesures qui peuvent être mises en place.

Signalisation horizontale (marquage)

Au niveau du marquage, aussi appelé signalisation horizontale, celui-ci est majoritairement effacé après un hiver rigoureux au Québec. Il ne permet donc pas toujours de guider le conducteur afin qu'il puisse circuler dans des conditions optimales de sécurité. Afin d'aider le ministère des Transports du Québec à rationaliser et optimiser ses ressources, un modèle de référence de dégradation de la visibilité du marquage pourrait être développé afin de prédire l'état du marquage et d'ainsi assurer la sécurité des usagers de la route québécois.

Signalisation verticale

La sécurité routière est un problème majeur de société (RGRA, 1995). Un conducteur doit pouvoir circuler sur une route qui lui offre un maximum de confort dans des conditions

optimales de sécurité (RGRA, 1995). Afin d'avoir un impact positif sur la sécurité routière, la signalisation doit être uniforme, comprise par tous, simple et claire (RGRA, 1995). Il faut faire un usage judicieux des panneaux de signalisation. Une attention particulière doit être portée aux endroits où le conducteur risque d'être distrait par le paysage et aux endroits où le champ visuel peut être obstrué.

Plaques odonymiques

La signalisation d'indication doit guider, diriger et orienter l'utilisateur de la route vers la destination recherchée (Transports Québec, 2018d). Les plaques odonymiques doivent donc permettre à tous les usagers de la route, peu importe leur acuité visuelle, de circuler en toute sécurité.

Lorsque les plaques de noms de rue sont difficiles à lire et/ou à trouver aux carrefours, cela peut nuire à la fluidité de la circulation et même entraîner des problèmes au niveau de la sécurité routière. Les plaques de nom de rue doivent être facilement repérables, très visibles et très lisibles. Elles devraient toujours être situées au même endroit aux différents carrefours d'une même municipalité/arrondissement/quartier afin que le conducteur n'ait pas à les chercher.

Afin d'avoir un bon contraste avec le milieu environnant, de jour comme de nuit, les plaques de noms de rue devraient avoir une couleur de fond foncée. Les plaques odonymiques qui sont les plus performantes aux niveaux visibilité/lisibilité sont les plaques de couleur bleue au lettrage blanc.

Signalisation de travaux

Si la signalisation joue un rôle très important au niveau de la sécurité routière, la signalisation de travaux a un double rôle. Elle doit guider les usagers de la route, comme tout autre type de signalisation, mais elle doit aussi protéger les travailleurs de la construction.

Internationalement, ce sont les couleurs rouge ou orange, combinées avec du blanc ou du noir, qui sont utilisées pour les repères visuels utilisés sur les chantiers de construction routière. Pour délimiter les chantiers de construction, ce sont les balises orange et noir ou orange et bleu qui sont les plus lisibles et les plus visibles. Ces couleurs vont par contre à l'encontre des couleurs majoritairement utilisées en Amérique du Nord et n'entrent donc pas dans un concept d'uniformisation avec les administrations voisines.

Les balises d'une hauteur de 1,2 m comme celles qui sont utilisées au Québec (T-RV-7) sont préférées aux balises de 1 m qui sont utilisées en Ontario. La pellicule blanche neuve de type III, actuellement utilisée sur les balises du Québec, peut créer un inconfort chez certains conducteurs en les éblouissant ou créant un effet de halo. Cet inconfort semble toutefois diminuer avec les salissures en conditions normales de chantier puisque le coefficient de rétro réflexion diminue.

Voilà des recommandations pour la signalisation, mais il faut se souvenir que ce n'est pas la signalisation qui fait réduire la vitesse de circulation, mais plutôt les aménagements physiques. Le gestionnaire de la route doit faire en sorte que les conducteurs fassent naturellement ce qu'on attend d'eux, soit diminuer leur vitesse de circulation afin d'assurer la sécurité de tous les usagers de la route. Pour ce faire, plusieurs aménagements physiques sont à sa disposition. L'implantation de carrefours giratoires plutôt que des intersections en croix gérées par des feux de circulation est un exemple d'aménagement mais il y en a d'autres.

Stationnements

Un de ces aménagements a rapport à l'aménagement de places de stationnement. Puisqu'il faut prévoir l'aménagement d'espaces de stationnement sur rue et hors-rue, dans les villes, ces espaces devraient être intégrés dans un plan d'aménagement global et être aménagés de façon à minimiser leurs impacts sur la sécurité routière.

Les espaces de stationnement sur rue peuvent être esthétiques et assurer une forme de modération de la circulation en limitant les vitesses de circulation à proximité de ces espaces. Le stationnement sur rue à angle à reculons, en plus d'offrir un plus grand nombre de places de stationnement par unité de longueur de trottoir que le stationnement sur rue en parallèle courant, facilite et sécurise les manœuvres de stationnement. Au niveau du stationnement sur rue en parallèle, certains aménagements mériteraient d'être copiés dont :

- la surélévation des espaces de stationnements par rapport à la surface de roulement;
- l'aménagement d'espaces de stationnement sur des voies dédiées;
- l'aménagement de cases de stationnement jumelées qui peuvent alterner de côté de rue pour modérer la circulation.

Il serait intéressant de vérifier si le fait de stationner son véhicule dans les deux sens de la circulation, peu importe que ce soit ou non dans le bon sens de la circulation, a un impact positif ou non sur la sécurité routière.

Pour les stationnements hors-rue, la largeur d'une case de stationnement de 2,75 m de largeur devrait être la norme partout en Amérique du Nord. Les villes qui ont des centres-villes denses devraient mettre en place un plan de jalonnement indiquant en temps réel l'état d'occupation des différents stationnements du secteur. Cette signalisation permettrait d'augmenter la fluidité de la circulation et, surtout, la sécurité routière.

Modération de la circulation en ville

La modération de la circulation en ville est un concept qui vise un meilleur partage de l'espace public et un meilleur équilibre entre les divers modes de transport. Tous les usagers de la route et les riverains sont pris en compte selon ce concept qui a permis des gains considérables au niveau de la sécurité routière. En plus de favoriser la coexistence des différents usagers de la route, ces aménagements permettent souvent d'embellir le secteur traversé. Ces aménagements peuvent être :

- des mesures physiques (chicane, dos d'âne allongé, coussin berlinois, plateau surélevé, plantation, avancée de trottoir, déviation, îlot ou autres);
- des entrées de ville;
- des boulevards urbains.

Des couleurs et des textures peuvent être utilisées pour réaliser ces aménagements.

Revêtements bitumineux colorés

Les revêtements bitumineux colorés sont utilisés depuis plus de trente ans. Ils servent notamment à :

- créer des ambiances urbaines;
- renforcer l'identité d'une ville;
- faciliter la lecture des espaces;
- favoriser la cohabitation des différents usagers de la route;
- identifier les lieux;

- réaliser des dispositifs d'alerte visuels.

En plus d'améliorer le cadre de vie, ils embellissent le secteur traversé, augmentent la luminosité et, surtout, ils permettent de rehausser le sentiment de sécurité des piétons, des cyclistes et des riverains en favorisant la coexistence des différents usagers de la route. Pour les conducteurs, les revêtements bitumineux colorés améliorent la visibilité dans la brume et sous la pluie, offrent une meilleure perception la nuit et entraînent un confort de conduite (fatigue moindre, sentiment d'aise).

Il y a quatre techniques de revêtements bitumineux colorés, soit :

- les enduits superficiels d'usure (ESU);
- les enrobés coulés à froid (ECF) et coulis bitumineux;
- les asphaltes colorés;
- les enrobés colorés.

Pour chacune de ces techniques, des précautions doivent être prises lors de la fabrication et de la mise en œuvre afin d'empêcher une altération de la teinte du revêtement. Les revêtements bitumineux colorés sont composés de granulats, de liants (bitumineux ou à base de résines) auxquels il faut ajouter des colorants, soit des pigments minéraux.

Le Québec dispose de matériaux permettant la réalisation d'enrobés bitumineux colorés répondant aux critères de qualité du ministère des Transports du Québec. Un premier enrobé coloré a été mis en place dans la municipalité de Sherbrooke à l'automne 2015. Il serait important de suivre cet enrobé afin de voir comment il va se comporter dans le temps compte tenu des extrêmes de températures observées au Québec (environ 78 degrés d'écart entre les températures ambiantes très chaudes d'été et les très froides d'hiver). Ainsi, en plus de sa résistance aux températures hautes (orniérage), il faudrait voir comment il va résister au froid (fissuration thermique).

En plus d'avoir un impact sur la modération de la circulation, les revêtements bitumineux colorés peuvent être utilisés dans un cadre de développement durable. Du fait qu'ils absorbent moins de chaleur, ils sont plus résistants au phénomène d'orniérage et ils peuvent réduire les îlots de chaleur en milieu urbain particulièrement dans les zones où il y a beaucoup de piétons. Sous le soleil et une température ambiante de 27°C, la température de surface d'un revêtement bitumineux coloré est de 2 à 6°C inférieure à celle mesurée sur un revêtement bitumineux noir

traditionnel. Plus le revêtement bitumineux coloré est pâle, plus la différence de température est élevée. Compte tenu que les températures dépassent régulièrement les 27°C l'été, les gains liés à l'utilisation de revêtements bitumineux colorés sont encore plus importants. Une diminution d'environ 4°C de la température moyenne de surface des revêtements d'une ville pourrait permettre une diminution de la température de l'air ambiant de 0,6°C.

Techniques routières répondant aux critères de développement durable

Depuis quelques années, les entrepreneurs du Québec et d'ailleurs développent de plus en plus des produits dits « verts », « écologiques » ou « respectueux de l'environnement ». Ainsi, huit techniques routières répondent aux critères de développement durable. Selon Harlem Brundtland, le développement durable est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Une chaussée durable est donc « une chaussée sûre, efficace et respectueuse de l'environnement, répondant aux exigences des usagers au présent sans compromettre celles des générations futures » (Brosseaud et St-Jacques, 2010; Brosseaud et St-Jacques, 2011).

Outre les revêtements bitumineux colorés, ces autres techniques routières répondant aux critères de développement durable sont :

- la valorisation des sols en place par des traitements à la chaux et/ou au liant hydraulique des sols argileux;
- la réutilisation des matériaux provenant de la démolition des bâtiments ou des assises de chaussées;
- le recyclage à chaud des matériaux bitumineux anciens;
- les enrobés acoustiques aussi appelés enrobés phoniques;
- les liants et fluxants végétaux;
- le recyclage en place à froid;
- les enrobés tièdes.

Il y a une tendance significative, autant en France qu'au Québec, à utiliser les différentes techniques routières répondant aux critères de développement durable.

Au Québec, autant le ministère des Transports que les principales municipalités ont pris un virage « vert » au niveau de leurs chaussées. En 2010, plus de la moitié des enrobés des dix principales municipalités du Québec étaient considérés « verts ».

Enrobés acoustiques

Le bruit routier constitue l'une des formes de pollution les plus répandues. Il dépend de 4 paramètres, soit des :

- paramètres statistiques (débits de circulation et types de véhicules);
- cinématiques (vitesses de circulation et écoulement);
- géométriques (profil en long de la route, nombre de voies et largeur des voies);
- acoustiques (type de revêtement et état d'usure du revêtement routier).

Les bruits de contact entre le pneumatique et la chaussée prédominent tous les autres bruits dès que la vitesse du véhicule dépasse 40-50 km/h pour les véhicules légers et 60-70 km/h pour les véhicules lourds et les autobus. Or, il existe des revêtements phoniques pour atténuer le bruit de roulement pneumatique/chaussée et sa propagation. Parmi ces revêtements, il y a :

- les enrobés très minces;
- les enrobés drainants;
- les nouveaux micro ou « nano » revêtements.

En plus de réduire les nuisances acoustiques d'environ 5 dB(A) par rapport à un revêtement classique, ils permettent aussi :

- de réduire les quantités de matériaux utilisés;
- d'offrir une adhérence élevée, due aux très nombreux points de contact granulat/pneumatique, réduisant les distances d'arrêt;
- d'améliorer l'uni transversal et longitudinal offrant ainsi un bon confort de roulement.

Plusieurs revêtements acoustiques sont actuellement en développement en France et au Québec. Bien que ces enrobés soient utilisés en Europe, et plus particulièrement en France, depuis près de 20 ans, aucun enrobé phonique n'a été mis en place au cours des dix dernières années au Québec.

Enrobés tièdes

L'utilisation des enrobés tièdes tend à se répandre rapidement depuis la fin des années 1990 sur tous les continents. Ils sont utilisés au Québec depuis 2005. Il s'agit d'enrobés qui sont produits à des températures moindres (minimum 20°C de moins pour le Québec et 30°C de moins pour la France) que les enrobés à chaud traditionnels au niveau du malaxage et du compactage. Pour ce faire, divers produits (composés organiques, adjuvants, eau) sont ajoutés au mélange bitumineux afin d'obtenir les mêmes propriétés finales de l'enrobé.

Il existe trois catégories d'enrobés tièdes, soit les catégories A, B et C. La catégorie A ne nécessite aucun additif ni apport d'eau. L'enrobage des granulats se fait toutefois de façon séquencée avec deux types de bitume. La catégorie B vise la modification de la viscosité du bitume par ajout d'eau. La catégorie C nécessite l'ajout d'un additif qui peut être un adjuvant chimique ou un composé organique. Internationalement, il existait 34 formules commerciales différentes d'enrobés tièdes en 2013. Les principales font partie des catégories B et C. Les enrobés tièdes réalisés selon les techniques Advera, Aspha-min, Evotherm et Sasobit demandent peu de modifications à l'usine d'enrobage. Alors que les techniques avec un procédé de moussage de bitume ont un coût initial élevé.

Selon la littérature et les essais réalisés au laboratoire de l'École de technologie supérieure, les enrobés tièdes performant bien en chantiers et en laboratoires. L'enrobé tiède de type ESG-10 avec Evotherm 3G et classe de bitume 64-34 (bitume performant entre -34°C et 64°C), posé sur une route importante du réseau du ministère des Transports du Québec (MTQ), a très bien performé lors des essais de détermination du module complexe en compression (modélisation du passage d'un véhicule de manière répétée); de mesure de la résistance à la fissuration thermique (résistance à la fissuration à basse température); et d'orniérage (déformation d'un enrobé soumis à une charge roulante à haute température).

Les enrobés tièdes constituent donc une solution intéressante pour répondre aux critères de développement durable. Les enrobés tièdes permettent de réduire les dépenses énergétiques de chauffage dans une proportion de 25 à 45% ainsi que les émissions de fumée, ce qui est un avantage pour les travailleurs. Il faudrait toutefois vérifier si le fait d'ajouter différents additifs dans ce type d'enrobés a un impact sur la santé des travailleurs. Cela ne semble pas avoir été analysé encore.

La thèse a démontré que les gestionnaires des Villes ont maintenant accès à différents dispositifs physiques (Chapitres 2, 3, 4 et 5) pour réaliser des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières (Chapitres 6, 7 et 8) urbaines répondant à des critères de développement durable. En plus de ces dispositifs et techniques, ils peuvent mettre en place certaines mesures pour favoriser le transport urbain sur leur territoire. Ces mesures concernent le transport actif (Chapitre 9), soit les déplacements sécuritaires, agréables et fonctionnels des piétons et des cyclistes, le transport collectif (Chapitre 10) dans un objectif de développement durable et le camionnage en milieu urbain (Chapitre 11).

Transport actif

Ainsi, pour favoriser le transport actif sur leurs territoires, les municipalités peuvent autoriser l'aménagement de traverses piétonnes de type Barnes Dance qui permettent la traversée multidirectionnelle, incluant les diagonales, à leurs carrefours achalandés. Selon ce principe, les véhicules sont immobilisés lorsque les piétons traversent et les piétons sont immobilisés à leur tour lorsque les véhicules circulent. En plus d'améliorer la sécurité des piétons en éliminant les conflits avec les véhicules motorisés, cela améliore les conditions de circulation puisque les véhicules motorisés peuvent réaliser plus facilement, sans conflit, leurs manœuvres de virage aux carrefours.

Des voies piétonnes larges et bien situées favorisent les déplacements à pied. Des équipements sportifs installés le long de ces voies favorisent l'activité physique, créent de l'ambiance et animent le secteur.

Des pistes cyclables bien entretenues, éclairées, éloignées des véhicules motorisés et des piétons, sécuritaires et attrayantes favorisent les déplacements à vélo. Il faut tenir en compte le fait que les cyclistes qui utilisent leur vélo comme mode de transport veulent se rendre le plus rapidement possible à leur destination. Les municipalités peuvent donc avoir à créer deux réseaux de voies cyclables sur leur territoire, soit un réseau cyclable récréatif et un réseau cyclable utilitaire.

Transport collectif

Au niveau du transport collectif, Montréal, ou le Québec, a déjà été parmi les pionniers. Il y a déjà eu des tramways (1892) et des trolleybus (1937) à Montréal. Il y a encore des funiculaires

(1879 -), un métro aérien (1967 -), des navettes maritimes (1860 -), des trains (1830 -), des tapis roulants (1960 -) et un métro souterrain (1966 -). De plus, le métro de Montréal est le premier métro souterrain au monde à circuler sur des pneumatiques.

Malgré l'augmentation de la population, le taux d'utilisation du transport en commun a toutefois stagné à Montréal. En 2015, le nombre d'utilisateurs était sensiblement le même qu'en 1940, soit environ 400 000 000 d'utilisateurs par année. Pourtant il y a le métro souterrain qui a été construit depuis, plusieurs nouvelles lignes d'autobus ont été ajoutées et des voies réservées ont été aménagées pour favoriser les déplacements en transport collectif. La fiabilité du service de transport collectif de Montréal est toutefois parfois déficiente et certaines lignes de métro et d'autobus fonctionnent à capacité aux heures de pointe. Cela peut décourager certains utilisateurs potentiels et les encourager à prendre leur voiture pour se déplacer.

Pour que Montréal redevienne avant-gardiste au niveau du transport urbain et que les montréalais privilégient le transport collectif pour leurs déplacements, il faudrait que la capacité des modes de transport en place soit augmentée et, surtout, que la fiabilité soit assurée. De nouveaux modes de transport collectif innovateurs et attrayants tels des tramways aériens, des straddling bus et des skytran pourraient faire augmenter la part modale du transport collectif à Montréal.

En attendant ces modes de transport collectif innovateurs, les municipalités du Québec peuvent favoriser le transport collectif sur leur territoire en encourageant le covoiturage et en implantant des voies réservées. Pour une meilleure efficacité des voies réservées et une meilleure compréhension des divers usagers de la route, les voies réservées devraient être en opération, si le secteur le permet, toute la journée et non seulement durant de courtes périodes de la journée.

Camionnage

La cohabitation entre les véhicules lourds et les autres usagers de la route est parfois ardue en milieu urbain. Les lois, normes et règlements sont des éléments indispensables pour créer un environnement structuré pour le camionnage, réduire les nuisances qu'ils génèrent et augmenter leur sécurité. Les décideurs publics (ministères des Transports provinciaux et fédéraux, municipalités, villes et arrondissements) doivent créer un cadre législatif rendant obligatoire l'équipement de différents dispositifs permettant d'améliorer la sécurité des véhicules lourds

en milieu urbain tels que les barres de protections latérales rigides. Ainsi, le ministère des Transports du Québec pourrait rendre obligatoire ces barres de protections latérales rigides sur tous les camions traversant la province.

Les nouveaux véhicules lourds devraient être équipés, en plus des rétroviseurs grands angles, de caméras, d'écrans de visualisation, de capteurs de présence, de pare-brise qui descendent plus bas ou de parois vitrées situées au bas du plancher de la cabine et à la hauteur du visage des piétons ou des cyclistes. Ces équipements existent ailleurs.

Un projet pilote devrait être mis en place pour vérifier si des livraisons/déplacements en dehors des périodes de pointe seraient bénéfiques pour l'industrie du camionnage.

La circulation des camions devrait être limitée à une seule voie de circulation conçue en conséquence, soit avec une chaussée renforcée.

Le camionnage en milieu urbain est essentiel. Il faut donc trouver le moyen de faire cohabiter les camions en milieu urbain en réduisant au maximum les nuisances, en optimisant leurs déplacements et en assurant la sécurité de tous les usagers de la route.

En résumé

C'est le programme interministériel français *Ville plus sûre, Quartiers sans accident* qui a considérablement modifié la façon de concevoir des routes (CETUR, 1990a; CERTU, 1994). Ce programme a permis aux divers concepteurs de routes de lutter contre l'insécurité routière. Il a donné des outils pour gérer les conflits entre vie urbaine et circulation, et permis de réduire de 60% les accidents corporels sur les voies traitées (RGRA, 1995). Ce programme a ouvert la voie pour redessiner les villes avec des nouveaux aménagements routiers et des nouveaux matériaux routiers.

Trente ans plus tard, ces nouveaux matériaux et aménagements routiers s'intègrent parfaitement avec le principe de développement durable. Ainsi, l'implantation des carrefours giratoires; une signalisation lumineuse synchronisée; des panneaux à messages variables bien utilisés; des plaques de noms de rue bien situées; des espaces de stationnement bien aménagés; et des mesures physiques pour modérer la circulation, plutôt que des panneaux STOP, permettent de réduire les gaz à effet de serre et d'améliorer la sécurité routière.

L'utilisation de matériaux routiers, tels les enrobés tièdes, les enrobés phoniques et les revêtements bitumineux colorés, a aussi un impact important sur l'environnement. Les enrobés tièdes réduisent les consommations d'énergie. Les enrobés phoniques réduisent les nuisances acoustiques d'environ 5 dB(A) par rapport à un revêtement classique. Les revêtements bitumineux colorés, en plus de bien marquer les différents espaces et d'économiser des coûts en éclairage, permettent de réduire les îlots de chaleur dans les villes, et sont plus résistants à l'orniérage que les enrobés noirs traditionnels.

Plusieurs mesures sont donc disponibles pour que les concepteurs de demain puissent réaliser des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières urbaines durables.

Cette thèse sur travaux a présenté les nouveaux aménagements routiers et les nouvelles techniques routières plus respectueuses de l'environnement qui peuvent être utilisés en milieu urbain. Elle contribue à l'avancement des connaissances pour des aménagements routiers sécuritaires et des techniques routières innovantes dans une perspective de gestion durable de la voirie urbaine.

Cette thèse a soulevé plusieurs questions qui pourraient faire l'objet de nouveaux projets de recherche. Les principales sont reliées aux nouvelles techniques routières et au camionnage.

Ainsi :

- Comment se comporteront dans le temps, sous les températures extrêmes du Québec, les revêtements bitumineux colorés? Le nouvel enrobé coloré qui a été posé à Sherbrooke pourrait servir pour faire ce suivi.
- Dans le cas des enrobés tièdes, il faudrait vérifier s'ils ont un impact négatif sur la santé des travailleurs. Les travailleurs se sentent plus en sécurité car il n'y a plus de fumée mais est-ce que ce qui empêche justement la présence de cette fumée est plus nocif que la fumée elle-même pour la santé des travailleurs?
- Est-ce qu'il est possible de développer au Québec des enrobés acoustiques compatibles avec les conditions hivernales qui y prévalent?

- Est-ce que le camionnage en milieu urbain pourrait être modifié de façon à le rendre plus sécuritaire, plus compatible avec la vie urbaine, en modifiant la taille des camions pour les derniers kilomètres notamment?

Cette thèse a aussi montré l'importance de bien communiquer les résultats de certains travaux de recherche. Ainsi :

- Il faut informer la population sur le bon comportement à adopter dans un carrefour giratoire.
- Il faut encourager les décideurs à choisir des modes de transport collectif innovateurs pour Montréal afin que Montréal redevienne une ville modèle en termes de transport en commun.
- Il faut sensibiliser les décideurs à l'importance de réaliser des aménagements routiers qui favorisent les déplacements sécuritaires et confortables de tous les utilisateurs du réseau routier.

Une route peut être belle, sécuritaire, conviviale et confortable, c'est aux concepteurs et aux décideurs de prendre les moyens pour qu'elle le soit.

ANNEXES

**ANNEXE 1 : LISTE DES PROJETS RÉALISÉS À
L'UNIVERSITÉ (1998-2019)**

**ANNEXE 2 : LISTE DES PROJETS RÉALISÉS
DANS L'INDUSTRIE (1982-1998)**

ANNEXE I

LISTE DES DIFFÉRENTS PROJETS RÉALISÉS À L'UNIVERSITÉ (1998-2019)

- ◆ Projets de recherche sur la Sécurité routière et les entrées de ville, à Saint-Irénée et à Dunham au Québec, avec la Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal (ministère des Transports du Québec). (1998-2001)
- ◆ Projet de recherche sur le réaménagement de boulevards traditionnels québécois en boulevards urbains. (2000-2001)
- ◆ Projet de recherche sur l'aménagement de traverses piétonnes de type Barnes Dance au centre-ville de Montréal. (2001-2002)
- ◆ Projet de recherche avec le MTQ sur la détermination d'un coût d'accident selon une typologie d'accident. (2002-2003)
- ◆ Programme d'échanges sur les essais d'orniérage avec le MTQ et DJL. (2002-2004)
- ◆ Essais croisés sur l'orniérage avec le LCPC (France), DJL, Eurovia (France) et le MTQ. (2003-2004)
- ◆ Projet de recherche pour le MTQ sur les températures de malaxage et de compactage des enrobés bitumineux. (2005-2006)
- ◆ Projet de recherche sur les dispositifs de modération de la circulation. (2005-2007)
- ◆ Réalisation de deux études (sécurité dans le stationnement étagé et accès au site) pour le Mail Champlain à Brossard, Québec (Ivanhoé Cambridge). (1998-1999 et 2006-2007)
- ◆ Mise en place d'un système d'Assurance qualité pour le LUCREB. Rédaction de procédures sur les conditions d'utilisation nécessaires pour être conformes aux différentes normes en vigueur (6 cartables). (2001-2002 et 2007-2008)
- ◆ Projet de recherche avec le MTQ sur l'adaptation au contexte québécois des modèles d'évaluation des coûts aux usagers HERS-ST et HDM-4. (2005-2008)
- ◆ Rédaction de procédures de vérification et d'étalonnage pour le LUCREB (7 cartables). (2005-2008)
- ◆ Projet de recherche avec le MTQ sur les différentes méthodes de relevés et d'indicateurs de performance sur la durabilité et la rétro réflexion du marquage longitudinal. (2007-2008)
- ◆ Projet de recherche avec le LCPC de Nantes sur l'influence de la qualité du revêtement sur la sécurité routière. (2008-2009)
- ◆ Projet de recherche avec le MTQ sur la validation in situ des critères d'autorisation de la circulation des VHR sur les ponts et viaducs du Québec. (2009-2010)
- ◆ Projet de recherche avec l'IFSTTAR sur le développement durable dans les chaussées urbaines. (2010-2011)
- ◆ Projets de recherche comparant les logiciels de simulation TSIS, Synchro, HCM/Cinema, HCS, SIDRA et PASSER II. (1999-2013)

- ◆ Projet de recherche avec le MTQ sur la configuration des bandes horizontales des pellicules rétro réfléchissantes à utiliser sur les repères visuels. (2006-2013)
- ◆ Projets de recherche sur l'intégration de l'environnement dans la gestion durable des routes. (2006-2023)
- ◆ Projets de recherche avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Nantes (France) et l'ESTP de Paris (France) sur les enrobés tièdes. (2007-2015)
- ◆ Projets de recherche avec l'IFSTTAR sur le recyclage des enrobés bitumineux. (2013-2019)
- ◆ Projets de recherche sur les plaques odonymiques. (1999-2023)
- ◆ Réalisation d'essais spécialisés sur les bitumes, les émulsions de bitume et les enrobés bitumineux pour l'industrie (Plus de 500). (1999-2023)
- ◆ Projets de recherche avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC devenu IFSTTAR) de Nantes (France) sur les revêtements colorés. (2000-2023)
- ◆ Projets de recherche sur l'implantation et le développement de carrefours giratoires au Québec. (2001-2023)
- ◆ Projet de recherche avec le MTQ sur les conséquences environnementales et impacts sur la santé de l'utilisation des enrobés tièdes lors de la construction de routes. (2012-2017)
- ◆ Projet de recherche pour la CMM et le CERIU sur les pratiques de gestion, de signalisation et de contrôle de la circulation dans les 82 municipalités de la région de Montréal. (2014-2016)
- ◆ Projets de recherche avec l'IFSTTAR sur le bruit routier en milieu urbain. (2014-2023)
- ◆ Projets de recherche sur les pistes cyclables de la région de Montréal. (2014-2019)
- ◆ Projets de recherche sur le transport urbain à Montréal. (2014-2019)
- ◆ Conception et validation d'un Guide de surveillance de travaux d'infrastructures municipales avec IGF-Axiom et le CERIU. (2016-2017)
- ◆ Développement d'un outil d'évaluation du coût socio-économique journalier des interventions des projets municipaux avec la Ville de Montréal. (2016-2017)
- ◆ Projets de recherche sur le camionnage en milieu urbain. (2016-2023)
- ◆ Projet de recherche sur les rues étroites et les rues partagées avec Vivre en ville. (2018-2020)
- ◆ Projets de recherche sur l'utilisation du BIM pour les infrastructures municipales. (2016-2023).

ANNEXE II

LISTE DES DIFFÉRENTS PROJETS RÉALISÉS DANS L'INDUSTRIE (1982-1998)

- ◆ Suite à l'étude de faisabilité de l'année universitaire 1981-1982, responsable de l'implantation du premier système de covoiturage à l'École Polytechnique de Montréal. Rédaction d'un rapport. Présentation du système au colloque de l'AQTR - CRT - Covoiturage - Québec en avril 1983. (1981-1983)
- ◆ Participation à une étude sur le respect des traverses piétonnes à proximité du Campus de l'Université de Montréal. Cette étude comportait l'observation du comportement des piétons et des véhicules à une traverse de piétons. (1982)
- ◆ Participation au rapport de conjoncture sur la recherche et le développement en transport (rapport Les voies de l'avenir) pour la partie "infrastructures" (équipements). (1982-1983)
- ◆ Responsable des recherches visant à déterminer tout ce qui se fait en Recherche/développement au Québec, au Canada et aux États-Unis, sur le transport maritime, le transport routier et le transport par pipelines. (1982-1983)
- ◆ Responsable de l'inventaire de tout ce qui s'est fait aux chantiers pour protéger l'environnement. Inspection des sites d'enfouissement sanitaire, des bassins de sédimentation, des bancs d'emprunt, etc. Rédaction du chapitre sur l'environnement du livre de Roger Lacasse: Baie James - une épopée. (1980-1982)
- ◆ Responsable du bilan des expériences canadiennes, américaines et européennes en matière de paracollectif. (1984-1985)
- ◆ Participation à une étude visant à déterminer les mesures incitatives au covoiturage qui seraient applicables au Québec. (1984-1985)
- ◆ Chargée de projet pour une étude faisant le bilan des expériences actuelles et passées de covoiturage dans la région de Montréal. Cette étude comportait la conception d'un questionnaire, l'enquête auprès des covoitureurs, l'analyse des résultats et la rédaction de deux rapports publics. (1984-1985)
- ◆ Participation à la surveillance de la voie réservée aux autobus et aux taxis sur le pont Champlain, à l'occasion de la visite du pape à Montréal, le matin du 11 septembre 1984: Vérification de l'impact des mesures spéciales en termes de capacité offerte et de débits mesurés, et vérification du comportement des usagers de la voie réservée et des autres usagers de la route face à la signalisation de la voie réservée. (1984)
- ◆ Responsable d'une étude faisant l'état de la situation actuelle sur le pont Champlain. Cette étude consistait en l'analyse de la circulation sur les voies adjacentes à la voie réservée; la détermination des impacts de la saturation des voies adjacentes sur la voie réservée; l'analyse sommaire de solutions susceptibles d'améliorer l'exploitation de la voie réservée. (1984-1985)
- ◆ Responsable des enquêteurs lors des sondages sur les habitudes et les besoins, en matière de transport, pour les plans de transport en commun du CIT Le Richelain et du CIT de Rouville, Québec. (1985-1986)

- ◆ Dans le cadre du programme intégré de développement du bassin du fleuve Sénégal (Afrique), participation à l'élaboration d'un plan directeur des ports de Saint-Louis et de Kayes. (1985-1986)
- ◆ Responsable de l'analyse des résultats de l'enquête menée à Lachenaie sur les habitudes de déplacement de la population. (1985-1986)
- ◆ Chargée de projet pour une étude visant à analyser la faisabilité d'implanter un service de transport en commun dans les municipalités de Rimouski, Rimouski Est et Sainte-Anne de la Pointe-au-Père. Cette étude comprenait l'analyse des parcours et horaires, l'évaluation de la clientèle potentielle, l'estimation des impacts financiers, et la présentation de certains scénarios aux représentants du transport dans ces municipalités. (1985-1986)
- ◆ Assistance technique et administrative pour les Organismes municipaux et intermunicipaux de transport (OMIT) de la région de Québec (Saint-Louis-de-Pintendre, Saint-Nicolas, Alma, Drummondville, etc.). (1985-1986)
- ◆ Participation au suivi et soutien d'expériences pilotes permettant une approche sélective et contrôlée de nouvelles approches en transport en commun (covoiturage, taxi collectif), dont celles de la CTCRO et de la CTCUQ. (1985-1986)
- ◆ Chargée de projet pour une étude sur les mesures de sécurité publique du Canal Chambly, entre les municipalités de Chambly et de Saint-Jean-sur-Richelieu (9 écluses, 10 ponts). Cette étude consistait à faire une évaluation des dispositifs de sécurité existants et à faire le bilan des interventions requises tant pour les écluses, les ponts, les routes environnantes, la piste cyclable, et les berges que pour le canal lui-même (Parcs Canada). (1985-1986)
- ◆ Participation à l'évaluation technique et économique de réseaux de transport en commun sur la Rive-Sud de Montréal. Cette étude comprenait l'analyse de l'offre et de la demande actuelle de transport et l'analyse des options aux niveaux transport et économique. (1985-1986)
- ◆ Participation à une étude sur l'évaluation de l'efficacité de la nouvelle norme de signalisation de la voie réservée sur le boulevard des Laurentides à Laval et sur l'analyse des moyens à mettre en oeuvre pour améliorer la circulation des autobus de la Société de transport de la ville de Laval jusqu'à leur nouveau terminus d'autobus à Montréal. (1985-1986)
- ◆ Participation à une étude visant à évaluer la circulation sur le boulevard des Trinitaires, à la hauteur du canal Lachine, advenant son prolongement entre le tronçon existant et l'autoroute 20, en tenant compte de l'impact de la réalisation du centre commercial Carrefour Angrignon. (1985-1986)
- ◆ Chargée de projet pour une étude visant à analyser la faisabilité d'implanter, en périodes de pointe, une voie réservée aux autobus sur le pont Victoria. Cette étude comprenait l'examen des données de base, le développement de deux scénarios de voie réservée, l'analyse des impacts, au niveau des infrastructures et au niveau institutionnel, l'élaboration d'un échéancier d'implantation, et l'estimation des coûts d'infrastructures et d'exploitation de la voie réservée (STRSM). (1986-1987)
- ◆ Chargée de projet pour une étude qui consistait à trouver des mesures pour bonifier la voie réservée du pont Champlain (STRSM). (1986-1987)
- ◆ Chargée de projet pour l'évaluation de l'offre et de la demande en stationnement dans le centre-ville de Hull.

- ◆ Responsable de la rédaction du Mémoire, présenté par l'Association du transport urbain du Québec (l'ATUQ) au ministère des Transports du Québec, sur le financement des organismes publics de transport en commun du Québec.
- ◆ Chargée de projet pour l'évaluation du projet pilote de taxis collectifs de la Commission de transport de la Communauté urbaine de Québec, (CTCUQ).
- ◆ Chargée de projet pour la synchronisation des feux de circulation de 9 intersections sur le boulevard Saint-Jean à Pointe-Claire et Dollard-des-Ormeaux, Québec. L'étude comprenait la justification de nouveaux feux de circulation, la détermination du nombre de plans de coordination requis, l'analyse des phases de virages à gauche, le calcul des plans de coordination ainsi que des recommandations sur l'aménagement géométrique des carrefours, la signalisation et le contrôle des accès aux commerces en bordure du boulevard. (1988)
- ◆ Chargée de projet pour une étude visant à estimer les impacts financiers de l'implantation d'un service de transport gratuit et amélioré entre les aéroports de Dorval et de Mirabel (Transport Canada).
- ◆ Chargée de projet pour une étude de pré faisabilité d'un système de gestion assistée par ordinateur (GAO) destiné aux personnes responsables de l'entretien routier des directions régionales de Brossard et de Saint-Jérôme, du ministère des Transports du Québec.
- ◆ Participation à une étude sur la sécurité et la mesure du risque dans les différents modes de transport au Canada (Transport Canada).
- ◆ Responsable du réaménagement et de la synchronisation des feux de circulation de 10 carrefours du boulevard Wilfrid-Hamel à Québec et Ville Vanier, Québec, à l'aide du logiciel PASSER II-84.
- ◆ Responsable de trois études pour la ville de Verdun, soit analyse de l'impact de la circulation générée par le projet de l'Isle (1 900 logements) et élaboration de scénarios d'aménagement; réaménagement des voies d'accès à l'autoroute Bonaventure en tenant compte des besoins futurs des résidents de l'Île-des-Sœurs; et évaluation de la géométrie du carrefour Galt-Lasalle, de l'accès aux six édifices à condominiums situés sur la rue Galt, et du prolongement de la rue Galt vers le fleuve avec un pont reliant Verdun à l'Île-des-Sœurs. (1987)
- ◆ Chargée de projet pour une étude de circulation et de réaménagement géométrique de l'autoroute des Laurentides (A-15) dans le but d'élargir l'autoroute à quatre (4) voies par direction entre les boulevards Henri-Bourassa, à Montréal, et Saint-Martin, à Laval, Québec: impact au niveau géométrie et circulation de cet élargissement et estimation préliminaire des coûts de l'élargissement. (1987-1988)
- ◆ Responsable de la réalisation d'un plan de transport en commun, incluant une enquête Origine-Destination, sur le territoire de la ville de Rimouski et des municipalités de Rimouski-Est et Sainte-Anne de la Pointe-au-Père.
- ◆ Participation à l'étude de réaménagement de l'échangeur autoroutier A-40/A-640, dans la région de Repentigny, au niveau des calculs de capacité, de mouvements d'entrecroisement et de feux de circulation.
- ◆ Responsable d'une étude d'évaluation financière du transport en commun pour la ville de Longueuil, Québec.
- ◆ Participation à une étude d'impact du trafic généré par le développement de l'Île-des-Sœurs sur les autoroutes Bonaventure et Décarie aux horizons de 1993 et du développement ultime de l'Île (ville de Verdun).

- ◆ Responsable de l'étude du prolongement de l'autoroute du Vallon dans la ville de Québec au niveau de la collecte des données et de la géocodification du réseau à l'aide d'un digimètre, dans le but d'implanter le modèle de planification des transports EMMÉ/2 dans la région de Québec.
- ◆ Participation à plusieurs études de circulation telles la planification des comptages lors des enquêtes dans la région ouest du Québec et la mise en place de l'étude sur le territoire de la M.R.C. Les Chutes-de-la-Chaudière.
- ◆ Participation au plan directeur de circulation de l'Île-des-Sœurs pour la cueillette des données et la définition de la demande future de déplacements; et responsable des calculs de capacité et de l'élaboration des scénarios d'aménagement, pour l'horizon de planification, au niveau des accès à Île-des-Sœurs, des intersections de l'Île et de la future voie réservée aux autobus de la STRSM.
- ◆ Chargée de projet pour l'évaluation de la mesure accordant la priorité à l'autobus quittant un arrêt en milieu urbain, dans le but de l'implanter à l'ensemble du Canada. L'évaluation s'est faite à partir d'enquêtes, d'observations et de relevés sur le terrain.
- ◆ Participation à l'élaboration de la liste des équipements requis aux cinq (5) intersections du Parc des Sources, à Pointe-Claire, et à la localisation des boucles de détection à chacune de ces intersections.
- ◆ Participation à différentes études de signalisation et de circulation telles l'analyse des niveaux de service aux accès du Vieux Port de Montréal; l'analyse du trafic généré, de la capacité et des niveaux de service aux principales intersections situées à proximité du Golf Wentworth dans les villes de Côte-St-Luc et St-Pierre (Société Immobilière Marathon Ltée) et du site Blue Bonnet (Campeau Corporation) advenant le cas où un développement immobilier serait effectué sur ces terrains; l'élaboration de la signalisation requise sur le terrain de l'atelier de peinture de General Motors.
- ◆ Responsable de l'élaboration de circuits d'autobus pour la ville de Rimouski.
- ◆ Chargée de projet pour le réaménagement du stationnement de la Place Rosemère (Supermarchés Provigo) et pour le réaménagement extérieur des services à l'auto des Provigo de Brossard et de Rosemère, incluant la signalisation proposée et l'estimation des coûts.
- ◆ Responsable de l'étude comparative des coûts reliés à la construction d'un garage pour l'entretien des véhicules de la compagnie Molson dans le Port de Montréal (Société d'habitation et de développement de Montréal).
- ◆ Responsable de l'élaboration des scénarios de fermeture des voies sur le pont Champlain, durant les travaux de réfection du pont, de façon à nuire le moins possible à la circulation et aux usagers du transport en commun empruntant la voie réservée.
- ◆ Responsable de l'estimation des coûts relatifs à l'étagement du boulevard Île-des-Sœurs et de la voie réservée aux autobus de la STRSM à l'Île-des-Sœurs.
- ◆ Responsable de la caractérisation de la circulation pour l'étude de justification de l'autoroute 30 entre l'autoroute 10, à Brossard, et l'autoroute 20, à Vaudreuil-Soulanges, Québec: caractéristiques géométriques du réseau routier, état structural des chaussées, statistiques d'accidents, évolution du trafic, niveaux de service actuels et futurs, principales caractéristiques de déplacement, temps de parcours, élaboration de solutions pour les améliorer.

- ◆ Participation à différentes études de circulation telles l'analyse des niveaux de service aux intersections situées à proximité de la Place de l'Étoile (Montréal); l'analyse des impacts sur la circulation du déménagement du Forum de Montréal sur les terrains d'Okeefe; l'accessibilité au futur centre commercial de Lachenaie; l'analyse des impacts sur la circulation de l'agrandissement des installations portuaires du port de Gros-Cacouna (Cacouna).
- ◆ Responsable d'évaluer les impacts des changements de géométrie sur la circulation du boulevard Saint-Jean, entre les boulevards de Salaberry, à Dollard-des-Ormeaux, et Hymus, à Pointe-Claire, et de déterminer les têtes de feux nécessaires compte tenu de ces changements.
- ◆ Chargée de projet pour l'étude de faisabilité et la préparation des plans et devis d'un viaduc au-dessus de l'autoroute 520, au droit de la rue O'Connell, dans la Cité; de Dorval, Québec, incluant un plan de signalisation.
- ◆ Chargée de projet pour une étude d'opportunité concernant l'aménagement de voies de contournement de Rivière-du-Loup et du village de Saint-Georges-de-Cacouna.
- ◆ Chargée de projet pour les relevés d'inventaire visuel de caractéristiques géométriques de 2 060 km du réseau routier québécois.
- ◆ Chargée de projet pour la mise à jour du Plan directeur de circulation de l'Île des Sœurs et pour la préparation des plans et devis pour le prolongement du boulevard Île des Sœurs.
- ◆ Responsable de l'évaluation des impacts sur le réseau routier de la construction d'un nouvel édifice pour l'École des Hautes Études Commerciales sur le chemin de la Côte-Sainte-Catherine.
- ◆ Chargée de projet pour les relevés en origine-destination et les relevés de trafic dans les régions administratives 6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-5, 7 et 8 du ministère des Transports du Québec.
- ◆ Chargée de projet pour la préparation des plans et devis d'une rue projetée entre le boulevard Saint-Jean et la voie de service de la Transcanadienne à Pointe-Claire, Québec, incluant les demandes d'approbation à la CUM et au MENVIQ.
- ◆ Responsable de la détermination des cycles, des phases et des temps de vert optimums à 8 carrefours de la ville de Sainte-Foy, Québec, à l'aide des logiciels PASSER II-90 et HCS 2.1.
- ◆ Responsable de la préparation du devis et des documents d'appels d'offres pour le remplacement des arbres et arbustes du Parc Industriel des Sources. Personne-ressource pour répondre aux questions durant la période de soumission.
- ◆ Responsable de la simulation des déplacements auto et marchandises sur un réseau d'équilibre à l'aide d'EMME/2 pour l'étude de l'autoroute métropolitaine dans un horizon de planification de 20 ans.
- ◆ Directeur de projet pour les travaux d'ingénierie civile, mécanique et électrique pour l'implantation de la téléphonie cellulaire dans le tunnel Ville-Marie (Cantel Québec).
- ◆ Responsable des plans et devis des travaux civils pour le terminus Henri-Bourassa de la STCUM.
- ◆ Participation à la signalisation des routes principales de Laforge 1 (Baie James).

- ◆ Directeur de projet pour le volet transport du plan directeur d'aménagement et de développement des quartiers Vieux-Québec/Basse-Ville et Cap-Blanc (Ville de Québec).
- ◆ Directeur de projet pour l'étude de circulation et de camionnage dans le secteur du site Angus (CP Rail)
- ◆ Participation ou responsable des plans de signalisation suivants:
 - Terminus Henri-Bourassa (STCUM)
 - Terminus Cité des Jeunes (STO)
 - Terminus Ottawa (STO)
 - Stationnement étagé - Aéroport de Mirabel
- ◆ Participation à l'évaluation de la demande en transport et à l'élaboration des routes d'accès pour le National Sports Center d'Abuja au Nigéria.
- ◆ Responsable de la revue des technologies existantes en Europe et aux États-Unis au niveau de la signalisation en tunnels routiers et de leur entretien afin d'améliorer la signalisation existante dans les tunnels Ville-Marie et A-13.
- ◆ Directeur de projet pour les enquêtes origine-destination du ministère des Transports du Québec et de la Communauté urbaine de Montréal (CUM).
- ◆ Directeur de projet pour le volet transport du réaménagement géométrique du boulevard René-Lévesque Est et de l'avenue Honoré-Mercier (Ville de Québec).
- ◆ Responsable de la définition, de la codification, des simulations avec MADITUC et de l'analyse des différentes variantes de réseaux en vue d'établir les prévisions d'achalandage d'une desserte ferroviaire aéroportuaire rapide entre le centre-ville de Montréal, Dorval et Mirabel (Aéroports de Montréal, Québec).
- ◆ Responsable de la détermination des cycles, des phases et des temps de vert optimums, et de la synchronisation de deux carrefours à Sainte-Foy à l'aide des logiciels HCM-Cinema et Passer II-90 (Ville de Sainte-Foy).
- ◆ Directeur de projet pour l'étude d'accès-sorties du futur projet domiciliaire de Solmico Inc. à Rimouski. Cette étude comprenait l'élaboration de différents scénarios d'aménagement tels que intersection gérée par des STOP, intersection gérée par des feux de circulation, viaduc, etc. et une estimation budgétaire du coût de réalisation de chacun de ces scénarios d'aménagement (Ville de Rimouski).
- ◆ Responsable de la détermination du cycle, du phasage et des minutages optimums, préparation des plans et devis pour deux nouveaux feux de circulation à Jonquière et préparation du plan de signalisation (projet d'aménagement de la Chute-à-Caron à Jonquière, Société d'électrolyse et de Chimie Alcan Ltée).
- ◆ Directeur de projet pour la détermination du cycle, du phasage et des minutages optimums et pour la préparation des plans et devis pour un nouveau feu de circulation dans la réserve de Kahnawake (Ministère des Transports du Québec).
- ◆ Directeur de projet pour la détermination du cycle, du phasage et des minutages optimums, et pour la préparation des plans et devis pour un nouveau feu de circulation à Ste-Anne-de-Bellevue, incluant un plan de signalisation temporaire (Ville de Ste-Anne-de-Bellevue).
- ◆ Responsable du volet circulation pour l'étude d'impact relative à l'exploitation des Chutes à neige Fullum et Saint-Patrick pour l'élimination de la neige (Ville de Montréal).

- ◆ Directeur de projet pour l'étude d'accès au futur site du "Power Centre" de Mascouche, l'étude de fonctionnalité du réseau de circulation et du parc de stationnement prévus sur le site, et l'estimation budgétaire du coût des infrastructures nécessaires au développement du site (Ivanhoé inc.).
- ◆ Responsable de l'aménagement du nouveau stationnement de 1000 places à l'aéroport de Dorval, incluant les accès au stationnement, la localisation des traverses piétonnes, la signalisation et le design des allées de circulation (ADM).
- ◆ Directeur de projet pour le premier volet de l'étude de justification du prolongement de l'autoroute 410 entre Sherbrooke et Lennoxville (Ministère des Transports du Québec).
- ◆ Chargé de projet pour l'étude des aménagements des entrées et des sorties du Carrefour Rimouski.
- ◆ Directeur de projet pour la synchronisation des feux de circulation du boulevard René-Lévesque à Québec.
- ◆ Directeur de projet pour l'étude d'impacts sur les accès et les sorties des Galeries Rive-Nord et de la Place Brien à Repentigny (Ivanhoé inc.).
- ◆ Responsable des plans de supersignalisation préliminaires (localisation des panneaux latéraux et aériens, design des panneaux, type de support, estimation des coûts) pour les autoroutes 25 et 35.
- ◆ Responsable de la vérification des dessins d'atelier concernant la signalisation de l'autoroute 15 au niveau des municipalités de Delson et Candiac (supports verticaux, piédestaux pour portiques de signalisation en treillis, signalisation latérale, supports cédant sous impact).
- ◆ Responsable de la préparation des plans et devis d'un feu de circulation à Terrebonne (Épiciers Unis Métro-Richelieu inc.).
- ◆ Représentante de l'Association des commerçants, promoteurs et gens d'affaires de parc Extension à la Commission de développement urbain de Montréal sur le projet de développement et de mise en valeur du site de l'ancienne gare Jean-Talon.
- ◆ Responsable des plans et devis de signalisation et de marquage dans le cadre de la réhabilitation de l'avenue Hailé-Sélassié (République d'Haiti, ministère des Travaux publics, Transports et Communications).
- ◆ Responsable de la préparation des plans et devis et de l'estimation des coûts du marquage et de la nouvelle signalisation latérale et aérienne de l'autoroute 35 au niveau des chemins Saint-Raphaël et Saint-André, incluant les nouvelles structures cédant sous impact.
- ◆ Responsable de la préparation des plans et devis et de l'estimation des coûts pour la réfection de la supersignalisation de l'autoroute 30 de la sortie 128 (Ste-Julie) jusqu'à Sorel, incluant les nouvelles structures cédant sous impact.
- ◆ Directeur de projet pour l'étude d'accès au futur site d'Ivanhoé à Laval et pour la fonctionnalité du réseau de circulation et du parc de stationnement prévus sur le site.

RÉFÉRENCES

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES **BIBLIOGRAPHIE**

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adam L. 2002. « Un carrefour giratoire, c'est simple et sécuritaire ». Colloque Les carrefours giratoires, AQTr et Association des ingénieurs municipaux du Québec, Montréal, 7 octobre 2002.
- Alonzo É. 2005. « Du rond-point au giratoire ». CERTU. Éditions parenthèses, 2005. Lyon, France. 162 p.
- Amiel M. 2018. « Importance du transport de marchandises et essor du e-commerce ». Matinée Espace Surface – Camionnage en milieu urbain. Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines. Montréal. 15 février 2018.
- AMT. 2013. « La mobilité dans la région de Montréal – Enquête Origine-Destination 2013 ». <https://www.amt.qc.ca/fr/a-propos/portrait-mobilite/enquete-od-2013>.
- Anquez P. et Herlem A. 2011. « Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes, impacts et solutions ». Chaire de responsabilité sociale et de développement durable – ESG - Université du Québec à Montréal. Avril 2011. 19 p.
- Aprville J.M. et Martin J.C. 2002. « Guide technique - Caractéristiques et intérêt économique des chaussées claires et éclaircies ». Centre d'Étude Technique des Tunnels, Bron, France.
- Arnaudet G., Bondil R. et Nicolas A. 1999. « Renforcement de la sécurité du tunnel de Las Planas ». RGRA, 774. pp. 48-52.
- Ascher F. et Apel-Muller M. 2007. « La rue est à nous tous ! ». Une exposition de l'Institut pour la ville en mouvement pour agir en toutes connaissances de causes. Paris. 27 avril au 15 juin 2007. Dernière mise à jour : Lundi 6 Février, 2012. <http://www.larueestatous.com/edito.html>
- Assemblée nationale du Québec. 2006. « Loi sur le développement durable ». Projet de loi no 118 sanctionné le 19 avril 2006. Éditeur officiel du Québec. 20 p.
- Association des Transports du Canada. 1995. « Supplément urbain au guide canadien de conception géométrique des routes ».
- Bahar G., Masliah M., Erwin T., Tan E. et Hauer E. 2006. « Pavement marking materials and markers: real-world relationship between retroreflectivity and safety over time ». 92. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board. 206 p.
- Bared J.G. 1997. « Roundabouts : Improving Road Safety and Increasing Capacity ». Transportation Research News, 151, pp. 13-15.
- Barraud S. 2013. « Guide pour la conception des aménagements cyclables ». Grand Lyon Direction de la Voirie. 162 p.

- Basco C.A. et Le Mestre J. 1994. « Sécurité routière : à problème particulier... solution originale » RGRA, 715. pp. 46-47.
- Beaupré A. (2011). « Évaluation et recommandations pour le développement des carrefours à sens giratoire au Québec ». Mémoire de maîtrise dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. 233 p.
- Beaupré A. et St-Jacques M. 2011. « Constats et recommandations pour le développement des giratoires au Québec ». INFRA 2011, 17^e édition, Québec, 07-09 novembre 2011.
- Beaupré A. et St-Jacques M. 2010. « Une décennie de giratoires au Québec : Bilan du comportement des usagers ». Revue Routes et Transports, vol. 39, no 4, Montréal, Québec. pp. 7-9.
- Beaupré A. et St-Jacques M. 2008. « Conception de carrefours giratoires au Québec : doit-on suivre le mouvement tel quel ou entreprendre des actions? ». 43^e Congrès annuel de l'AQTr, Québec, 14-16 avril 2008.
- Bellalite L. 2000. « L'aménagement des traversées d'agglomération en Europe ». Routes et paysages villageois. Éd. Conseil du paysage québécois, section 4. pp. 1-12.
- Bellalite L. 1998. « Le traffic calming sur la rue Galt Ouest à Sherbrooke: Des résultats probants ». Revue Routes et Transports, vol. 27, no 4, automne 1998, pp. 9-20.
- Bennet G. 2012. « L'induction de trafic – Revue bibliographique ». SÉTRA, France. Octobre 2012. 29 p.
- Berthod C. et Hiron B. 2012. « Partage de la rue en milieu urbain : l'exemple de la démarche Code de la rue en France ». Congrès annuel de 2012 de l'Association des transports du Canada. Fredericton, Nouveau-Brunswick.
- Bertrand M. 2002. « Utilisation de granulats colorés pour la formulation d'enrobés bitumineux colorés ». Mémoire de maîtrise dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. 164 p.
- Besco C.A. et Le Mestre J. 1994. « Sécurité routière – À problème particulier ... solution originale ». RGRA, 715. pp. 46-47.
- Big Truck Guide. 2014a. « Semi-Trailer Length : Standard 5 Axle Semi Truck – Maximum Trailer Length ». In Le site internet Big Truck Guide. <http://www.bigtruckguide.com/semi-trailer-length/> .
- Big Truck Guide. 2014b. « Straight Truck Length : 3 Axle Straight Truck Length Limit ». In Le site internet Big Truck Guide. <http://www.bigtruckguide.com/straight-truck-length/> .
- Boily F. et Tremblay M. 2014. « Guide sur la rétro réflexion du marquage routier - Principes et évaluation ». Ministère des Transports du Québec. Janvier 2014. 33 p.

- Boisvert J.M, Caron A., Gamache L. et Létourneau J.P. 1996. «Combattre le bruit de la circulation routière – Techniques d’aménagement et interventions municipales ». 2^e édition. Publications du Québec. 95 p.
- Bonnel P. 2001. « Prévision de la demande de transport ». Rapport présenté en vue de l’obtention du diplôme d’habilitation à diriger les recherches, ENTPE, Lyon, France. Décembre 2001. 409 p.
- Bourque P. 2009. « Stationnement incitatif sur rue ». Institute of Transportation Engineers ITE 2009. Montréal. 31 mai - 3 juin 2009.
- Brailly M.C. et Rennesson C. 1995. « Coloration des revêtements routiers et sécurité routière », RGRA, 733. pp. 47-49.
- Brosseaud Y. et Anfosso-Ledee F. 2015. « Dispositions françaises pour l’usage des revêtements peu bruyants ». Journée technique. Sao Paulo. Mars 2015.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2016a. « Bilan, évolution et domaine d’utilisation des enrobés drainants ». INFRA 2016, 22^e édition, Montréal, 21 - 23 novembre 2016.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2016b. « Bilan des propriétés de surface des revêtements acoustiques ». INFRA 2016, 22^e édition, Montréal, 21 - 23 novembre 2016.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2015. « Bruit routier : où en sommes-nous? ». INFRA 2015, 21^e édition, Québec, 30 novembre - 2 décembre 2015.
- Brosseaud Y et St-Jacques M. 2011. « Le développement durable dans les chaussées urbaines : traduction en termes techniques ». Revue Via Bitume, vol. 6, no 1, pp. 23-25.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2010. « Le développement durable dans les chaussées urbaines : traduction en termes techniques ». INFRA 2010, 16^e édition, Montréal, 15-17 novembre 2010.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2004. « Empleo de los pavimentos bituminosos coloreados en Francia ». Carreteras, 4a Época – Núm. 131 – Enero/febrero 2004 – Revista Técnica de la Asociación Española de la Carratera, Madrid, pp. 86-104.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2002a. « Les revêtements bitumineux colorés en France, bilan d’utilisation, 1ère partie ». Revue générale des routes et des aéroports no 807, Paris, France. pp. 32-39.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2002b. « Les revêtements bitumineux colorés en France, bilan d’utilisation, 2e partie ». Revue générale des routes et des aéroports no 809, Paris, France, pp. 66-73.
- Brundtland G.H. 1987. « Notre avenir à tous ». Rapport de la Commission mondiale sur l’environnement et le développement de l’ONU. 816 p.
- Brusque C. 2000. « Perception nocturne des revêtements colorés ». Rapport interne LCPC, Convention DSCR-LCPC 1999, Paris, France.

- Bueche N. 2011. « Évaluation des performances et des impacts des enrobés bitumineux tièdes ». École polytechnique fédérale de Lausanne.
- Burelle C., Foster K.A. et Terhzaz N. 2013. « Analyse comparative des logiciels HCS2010, Synchro et HCM-Cinema ». Projet spécial dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. Hiver 2013.
- Careau S. et St-Jacques M. 1999. « Sécurité routière : étude de sites ». Comptes-rendus des communications, congrès AQTr/CITE 1999, Montréal, Québec, 3-5 mai 1999.
- CERTU. 2012. « Guide des chicanes et écluses sur voiries urbaines ». Lyon, France.
- CERTU. 2010. « Guide des coussins et plateaux ». Lyon, France.
- CERTU. 2000a. « Giratoires en ville, mode d'emploi ». Lyon, France.
- CERTU. 1998. « Les boulevards urbains ». Fiche technique no 28, janvier 1998, 12 p.
- CERTU. 1997. « Guide technique - Le choix des revêtements colorés à base de bitume ou de résine pour la voirie urbaine – recommandations ». Dossiers du CERTU, Paris, France. 211 p.
- CERTU. 1994. « Ville plus sûre, Quartiers sans accidents : réalisations et évaluations ». Paris, France, 253 p.
- CETUR. 1994. « Urbanisation aux abords des infrastructures - Phénomènes économiques et effets induits en entrées de Ville ». Lyon : CETUR, séminaire Entrées de Ville, séance no 9, Paris, 24 février.
- CETUR. 1990a. « Ville plus sûre, Quartiers sans accidents, Savoir-faire et techniques ». Paris, France. 318 p.
- CETUR. 1990b. « Les études de prévision de trafic en milieu urbain – Guide technique ». Bagneux, France. 79 p.
- Chaignon F. 2010. « Panorama des réalisations d'enrobés tièdes ». 6^e congrès annuel de Bitume Québec. Bromont, Québec.
http://www.bitumequebec.ca/assets/application/events/files/b43448157bb0ea8_file.pdf.
- Chowdhury A. et Button J.W. 2008. « A Review of Warm Mix Asphalt ». 75 p.
<http://swutc.tamu.edu/publications/technicalreports/473700-00080-1.pdf>.
- Christory J.P., Rubio R., Salliot Y. et Cluzaud J.M. 2000. « L'asphalte, matériau d'aménagement de l'espace public ». RGRA, 784. pp. 40-43.
- Clara Fang F., Rimiller J.H. et Habesch N.O. 2007. « Safer Streets : The Measured Effectiveness of Hartford's Citywide Traffic Calming Program ». Institute of Transportation Engineers Annual Meeting and Exhibit 2007. Vol. 2. pp. 831-841.

- Conseil des ministres responsables des transports et de la sécurité routière. Canada. 2014. « Réglementation des poids et dimensions limites des véhicules lourds utilisés pour le transport interprovincial : résultant du Protocole d'entente fédéral-provincial-territorial sur la réglementation des poids et dimensions des véhicules ». 41 p. <http://www.comt.ca/english/programs/trucking/MOU%202014F.pdf>.
- Cottrell Jr B.H. et Hanson R.A. 2001. « Determining the effectiveness of pavement marking materials ». Virginia Transportation Research Council, Virginia Department of Transportation, Federal Highway Administration, Transportation Research Board. 31 p. http://virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/01-r9.pdf
- Courcy-Legros L. 1985. « Les p'tits chars ». Transport 2000. 4e trimestre 1985. Montréal. 23 p.
- Crevier C. 2007. « Les aménagements en modération de la circulation, étude et applications ». Mémoire de maîtrise dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. 387 p.
- Crevier C. et St-Jacques M. 2007. « Traffic Calming – Oser associer les dispositifs au problème ». Revue Routes et Transports, vol. 36, no 3, Montréal, Québec. pp. 24-27.
- Crouse D.W. 2004. « Traffic Calming: A Social Issue ». University of Toronto. Bulletin of Science, Technology and Society. Vol. 24, No 2. pp. 138-144.
- D'Angelo J. 2008. « Warm Mix Asphalt Technology ». Saskatoon, Saskatchewan: US Federal Highway Administration, CUPGA, Office of Pavement Technology Asphalt Pavement Program, 39 p.
- D'Angelo J., Bartoszek H.J., Baumgardner G., Corrigan M., Cowser J., Harman T., Jamshidi M., Jones W., Newcomb D., Prowell B., Sines R. et Yeaton B. 2008. « Warm-Mix Asphalt: European Practice: International Technology Scanning Program ». 59 p. <http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl08007/pl08007.pdf> .
- Daniel J., Chien S. et Liu R. 2005. « Effectiveness of Certain Design Solutions on Reducing Vehicle Speeds ». FHWA-NJ-2005-007.
- Diefenderfer S.D. et Clark T.M. 2011. « Warm-Mix Asphalt heating up in Virginia ». TR News, no 274, pp. 33-35.
- Direction du laboratoire des chaussées. 2012. « Mesure en laboratoire de la résistance au retrait thermique des enrobés ». Info DLC, Vol. 9, no 4, avril 2004.
- Dollin P. et Genardini C. 1992. « Avec Shell Mexphalte C - Signalisation colorée sur l'aire de Sommesous (A26-RN4) ». RGRA, 699. pp. 43-45.
- Domecq J.J. et Sicard D. 1995. « Les produits colorés à base de bitume ou de résines pour revêtements de voirie urbaine ». RGRA, 730. pp. 42-45.
- Doucet, Félix. 2013. « Détermination du module complexe des enrobés au MTQ ». Revue Via Bitume. Mars 2013. pp. 19-23.

- Drainville S. et St-Jacques M. 2003. « Analyse d'impact de l'aménagement de traverses piétonnes de type Barnes Dance au centre-ville de Montréal ». Revue Routes et Transports, vol. 31, no 4, Montréal, Québec, 2003, pp. 9-24.
- Drainville S. et St-Jacques M. 2002. « Analyse d'impact de l'aménagement de traverses piétonnes de type Barnes Dance au carrefour Peel/Ste-Catherine à Montréal ». 37^e Congrès annuel de l'AQTr, Québec, 8 et 9 avril 2002.
- Dumais S. 2014. « Utilisation des revêtements routiers à albédo élevé afin d'atténuer l'effet des changements climatiques ». 14^e édition du Concours 2014 de mémoire de l'AIPCR-Québec 14 p.
- Dupont A. 1994. « Les entrées de ville ou redonner le goût de l'urbanisme ». Paris : Rapport à l'intention du ministre de l'Environnement et du ministre de l'Équipement, des Transports et du Tourisme.
- Eurovia. 1999. « Fiche technique ».
- Ewaida A.A. 2015. « Driver Behavior at Roundabouts – Gaza City as a Case Study ». Thesis at the Islamic University of Gaza, Palestine. January 2015. 129 p.
- Flannery A.R. 2001. « Geometric Design and Safety Aspects of Roundabouts ». Transportation Research Record, 1751, pp. 76-81.
- Fleishman D. et Flusberg M. 1982. « Paratransit for the Work Trip: Commuter Ridesharing ». U.S. Department of Transportation, janvier 1982.
- Frobert S. 1999. « Entrées de ville - Dossier bibliographique ». CERTU, Lyon. 1999. 70 p.
- Garcia A., Moreno A.T. et Romero M.A. 2012. « A new traffic-calming device : Speed kidney ». Institute of Transportation Engineers. ITE Journal. Vol. 82, No 12. pp. 28-33.
- Gariépy, M., Lewis, P., Valois, N. et Desjardins, L. 2006. « Le cadrage paysager des entrées routières de Montréal - Environnement ». Études et recherches en transport. Transports Québec. Rapport réalisé par la Chaire en paysage et environnement, Faculté de l'aménagement, Institut d'urbanisme, Université de Montréal, pour le Ministère des Transports du Québec, Direction de la recherche et de l'environnement. 294 p.
<http://ocpm.qc.ca/sites/ocpm.qc.ca/files/pdf/P42/5a.pdf>
- Gehl J. 2012. « Pour des villes à échelle humaine ». Collection Guides pratiques. Les Éditions Écosociétés. Québec. 273 p.
- Got C. 2015. « Aménagements pour les cyclistes ». Sécurité routière.org. France.
<http://www.securite-routiere.org/infrastructure/cyclables/cyclistes.htm>
- Granger J. et St-Jacques M. 1983. « Covoiturage à l'École Polytechnique de Montréal ». Rapport présenté au colloque de l'AQTr - CRT - Covoiturage Québec, Montréal, Québec.

- Groleau J. 2008. « Étude sur la configuration des bandes horizontales des pellicules rétro réfléchissantes à utiliser sur les repères visuels ». Mémoire de maîtrise dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. 163 p.
- Groleau J., St-Jacques M. et Assaf G.J. 2008. « Étude sur la configuration des bandes rétro réfléchissantes utilisées sur les repères visuels ». 43e Congrès annuel de l'AQTr, Québec, 14-16 avril 2008.
- Groz P.C. et Masson G. 1995. « La route prend des couleurs : 1990-1995 ». RGRA, 734. pp. 46-47.
- Grundy C., Steinbach R., Edwards P., Green J., Armstrong B. et Wilkinson P. 2009. « Effect of 20 mph traffic speed zones on road injuries in London, 1986-2006 : controlled interrupted time series analysis ». London School of Hygiene & Tropical Medicine. BMJ 2009;339:b4469. Doi:10.1136/bmj.b4469. 6 p.
- Hallmark S.L., Hawkins N., Fitzsimmons, E., Resler, J., Plazak, D., Welch T. et Peterson E. 2008. « Use of Physical Devices for Calming Traffing Along Major Roads Through Small Rural Communities in Iowa ». Transportation Research Record. No 2078. pp. 100-107.
- Herment R. et Reymonet J.P. 1989. « Mexphalte C et Colclair – Des couleurs pour les chaussées ». RGRA, 669. 4 p.
- Hill B. 2011. « Performance evaluation of warm mix asphalt mixtures incorporating reclaimed asphalt pavement ». Mémoire de maîtrise en génie civil, Urbana, University of Illinois at Urbana-Champaign, 60 p.
- Houde J. 2005. « Problématique des plaques ononymiques de la ville de Montréal ». Projet synthèse dirigé par le professeur Michèle St-Jacques. École de technologie Supérieure. Hiver 2005.
- Institut d'aménagement et d'urbanisme. Ile de France. 2016. « Avenues métropolitaines - Transformer une voie rapide en avenue urbaine : une bonne idée ? » <http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/amenagement-et-territoires/amenagement/avenues-metropolitaines.html>
- IAURIF. 1997. « Les paysages de l'Île-de-France, comprendre, agir, composer », Cahiers de l'I.A.U.R.I.F., no 117.
- Institute of Transportation Engineers. 2017. « Trip Generation ». 10th Edition, (2 volumes et un Handbook).
- Institut Belge pour la Sécurité Routière. 2005. « Le Code de la rue... La rue pour tous ». Octobre 2005. 22 p.
- International Road Transport Union (IRU). 2009. « Maximum permitted weights and dimensions, goods transports : Japan ». 1p. <https://www.iru.org/apps/infocentre-item-action?id=302&lang=en>.

- Jacob. A.B. 1995. « Great Streets ». MIT Press. London. 318 p.
- Jacquemart G. 2002. « Bilan Sécurité des giratoires aux États-Unis ». Colloque Les carrefours giratoires, AQTr et Association des ingénieurs municipaux du Québec, Montréal, 7 octobre 2002.
- Jacquemart G. 1998. « Synthesis of Highway Practice 264 : Modern Roundabout Practice in the United States ». Washington, DC : National Cooperative Highway Research Program. 73 p.
- Jamshidi A., Hamzah M.O. et You Z. 2013. « Performance of Warm Mix Asphalt containing Sasobit®: State-of-the-art ». Construction and Building Materials, vol. 38, pp. 530-553.
- Jiang Y., Lianghua J. et Qin Y. 2014. « Effects of Traffic Calming Measures on Vehicle Speed Control and Road Safety ». Applied Mechanics & Materials; December 2014. Vol. 721, pp. 39-42.
- Joly M.-F. et al. 1994. « Une expérience-pilote pour la sécurité des piétons : l'installation d'une signalisation numérique à Ville de Saint-Laurent ». Revue Routes et Transports, Les piétons et l'aménagement urbain, volume 24, numéro 1, printemps 1994, AQTr, pp. 17-22.
- LaBelle, James C. Frève, Sheena F. University of Illinois at Chicago – Urban Transportation Center. 2016. « Exploring the Potential for Off Peak Delivery in Metropolitan Chicago : Research Findings and Conclusions ». 30p. https://utc.uic.edu/wp-content/uploads/Final-OPD-Research-Report_1.1-30.pdf.
- Lacasse P. 2012. « Différentes formes de partage de l'espace public ». INFRA 2012, 18^e édition, Montréal, 19-21 novembre 2012.
- Langlois P. 2010. « Les enrobés phoniques ou phono-absorbants ». Revue Via Bitume. Vol. 5 No 3. Octobre 2010. pp. 16-19.
- Lassalle J., Rémillon A. et Sicard D. 1981. « Enrobés spéciaux à usages divers ». Guide de construction routière. RGRA. Supplément au No 581. Décembre 1981. 11 p.
- Lassalle J., Chazal P., Deligne P., Duval J., Langumier G. et Spillemaecker P.M. 1980. « Liants et enrobés spéciaux ». RGRA, 568. Octobre 1980. pp. 104-106.
- Laye P., Gleizes G., Boubila M. et Brosse M. 1992. « Des enrobés colorés à Cavaillon ». RGRA, 699. pp. 43-45.
- LCPC. 1999. « Guide technique - Emploi des liants bitumineux modifiés, des bitumes spéciaux et des bitumes avec additifs en techniques routières ». AIPCR, comité technique des routes souples (C8). pp. 115-128.
- Lecroart P. 2015. « La Ville après l'Autoroute : Expériences et réflexions pour le Grand Paris ». Atelier International du Grand Paris. Séminaire Mobilités et Habitat. 27 mars 2015. 109 p.

- Leden L., Wikström, P.E., Garder P. et Rosander P. 2006. « Safety and accessibility effects of code modifications and traffic calming of an arterial road ». *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 38, No 3. May 2006. pp. 455-461.
- Lemaire V. 2004. « Problématique des plaques odonymiques de la ville de Montréal ». Projet synthèse dirigé par le professeur Michèle St-Jacques. École de technologie Supérieure. Hiver 2004.
- Lesage J. et Groz P.C. 1992. « Sécurité et esthétique pour les chaussées urbaines, perspectives nouvelles ». *RGRA*, 702. pp. 93-97.
- Lessard M., St-Jacques M. et Williams R. 2003. « Entrées de ville : sécurité, paysage et identité ». *Les temps du paysage*, Les Presses de l'Université de Montréal, Collection Paramètres, 2003, pp. 187-202.
- Lessard M., St-Jacques M. et Williams R. 2000. « Constats sur les enjeux, la stratégie d'intervention et les instruments du projet d'entrée de villages et de petites villes ». *Routes et paysages villageois*. Éd. Conseil du paysage québécois, section 6. pp. 1-14.
- Lessard M., St-Jacques M. et Williams R. 1999. « Entrées de ville : sécurité, paysage et identité ». *Comptes-rendus des communications*, Premier séminaire international de la Chaire en paysage et environnement de l'Université de Montréal. 23-24 septembre 1999.
- Lévesque H. 2005. « Détermination d'un coût d'accident selon une typologie d'accident pour améliorer l'évaluation des avantages et des coûts des infrastructures routières ». Mémoire de maîtrise dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. 268 p.
- Lévesque H., et St-Jacques M. « Analyse des statistiques d'accidents : bilan des expériences canadiennes et étrangères ». 39^e Congrès annuel de l'AQTr, Québec, 4-6 avril 2004.
- Lindly J.K., et Wijesundera R.K. 2003. « Evaluation of profiled pavement markings ». University of Alabama, Tuscaloosa; Alabama Department of Transportation; University of Alabama, Tuscaloosa. Transportation Research Board. 112 p.
http://utca.eng.ua.edu/projects/final_reports/01465FnlRpt.pdf
- Liu V. 2006. « Waterborne Traffic Paint Performance in Utah Based on Retroreflectivity ». 11th AASHTO-TRB Maintenance Management Conference, Transportation Research Board, American Association of State Highway and Transportation Officials, Federal Highway Administration.
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec098.pdf>
- Liu J., Saboundjian S., Li P., Connor B. et Brunette B. 2011. « Laboratory Evaluation of Sasobit-Modified Warm-Mix Asphalt for Alaskan Conditions ». *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, no 11, pp. 1498-1505.
- London Councils. 2017. « London Lorry Control : About the London Lorry Control Scheme ». In *Le site internet du London Councils : London Lorry Control*. En ligne.
<http://www.londoncouncils.gov.uk/services/london-lorry-control/about-llcs>.

- Lopes M.A. 2014. « Les aménagements cyclables en Ile-de-France – Bilan et évolutions récentes 2007-2012 » Institut d'aménagement et d'urbanisme. Île de France. Juin 2014. 58 p.
<http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/les-amenagements-cyclables-en-ile-de-france.html>
- Loustalot P., Cibray J.C., Genardini C. et Janicot L. 1995. « Bétons bitumineux clairs sur le périphérique parisien ». RGRA, 735. pp. 57-60.
- Lu J.J. et Barter T. 1998. « Evaluation of traffic markings in cold regions ». Journal of Transportation Engineering, vol. 124, no 1, pp. 42-51.
- Lundkvist, S.-O. 2008. « Evaluation of Road Equipment with emphasis on Condition Assessment ». Doctoral Thesis. KTH, Stockholm. April 2008.
- Mackey P. 2000. « Tendances nord-américaines dans la conception des routes ». Routes et paysages villageois. Éd. Conseil du paysage québécois, section 3. pp. 1-12.
- Mackey P. 1998. « Le défi d'aménager des rues conviviales » Revue Routes et Transports, vol. 27 no 3. pp. 24-27.
- Mackey P. 1984. « La conception du stationnement en fonction de l'économie urbaine ». Transports Québec. Février 1984. Québec. 153 p.
- Maiga O. 2006. « L'utilité d'un carrefour giratoire dans la sécurité routière ». Séminaire international AIPCR – AGEPAR. Lomé, Togo. 11-13 octobre 2006.
- Mallick R.B. et Bergendahl J. 2009. « A laboratory study on CO₂ emission from asphalt binder and its reduction with the use of Warm Mix Asphalt ». International Journal of Sustainable Engineering, vol. 2, no 4, pp. 275-283.
- Mandagaran B. 1992. « La couleur au service de la sécurité » RGRA, 694. pp. 50-51.
- Marret, J.-L. 1998. « 50 km/h en ville – Quand chaque kilomètre COMPTE... » Revue Routes et Transports, vol. 27 no 3. pp. 31-32.
- MeadWestVaco. 2010. « Stack Emissions & Jobsite Fumes Reductions Using Evotherm® Warm Mix Asphalt ». <http://www.meadwestvaco.com/mwv/groups/content/documents/document/mwv017395.pdf>
- Miaux S. 2008. « Le piéton: un acteur privilégié de l'espace public barcelonais ». Cahiers de géographie du Québec. Vol. 52, No 146. pp. 175-190.
<http://id.erudit.org/iderudit/019587ar>
- Migletz J., Graham J, Bauer K. et Harwood D. 1999. « Field Surveys of Pavement-Marking Retroreflectivity ». Transportation Research Record, vol. 1657, pp. 71-78.

- Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. 2011. « Cahier de recommandations pour la réalisation d'aménagements cyclables dans les espaces protégés ». Octobre 2011. 92 p.
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Cahier_Recommandations-Version_6_Mo.pdf
- Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer. République Française. Bison Futé. 2016. « Véhicules lourds 2017 : Calendrier des interdictions particulières ». En ligne. 16p.
http://www.bisonfute.gouv.fr/IMG/pdf/Brochure_FR_vehicules_lourds_2017.pdf
- Ministère des Transports du Québec. 2016. « Carrefour giratoire ». <https://www.mtq.gouv.qc.ca/usagers/reseauroutier/Pages/Carrefour-giratoire.aspx>
- Ministère des Transports du Québec. 2014. « Plan d'intervention de sécurité routière en milieu municipal – Guide méthodologique d'élaboration ». PISRMM. 38 p.
- Ministère des Transports du Québec. 2010. « Recensement de la circulation sur les routes du Québec ». Rapport annuel 2008.
- Ministère des Transports du Québec. 2009. « Stratégie de développement durable 2009-2013 ». 80 p.
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). État du Japon. 2017. « Vehicle size and weight : Road-related Systems in Japan ». In Le site du MLIT : Road Bureau – Policies. En ligne. http://www.mlit.go.jp/road/road_e/p7_vehicle.html.
- Morana, J. & Gonzalez-Feliu, J. 2010. « La logistique du dernier kilomètre : les défis d'un transport urbain "vert" ». En ligne. 12p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00493701/document>. Consulté le 4 août 2017. National Heavy Vehicle Regulator (NHVR). 2016b. « National heavy vehicle mass and dimension limits ». En ligne. 10p. <https://www.nhvr.gov.au/files/201607-0116-mass-and-dimension-limits.pdf>.
- Moxon S. 1997. « High Factor Asphalt ». International Water Power and Dam Construction. Vol. 49. No 9. pp. 28-30.
- Myers E.J. 1999. « Accident Reduction with Roundabouts ». ITE Annual Meeting 1999, Las Vegas, NV.
- Najafi F.T. et Jivacate I. 2002. « The Current Status of Roundabouts ». 30^e Conférence annuelle de la SCGC, Montréal, 5-8 juin 2002.
- National Heavy Vehicle Regulator (NHVR). 2016. « National heavy vehicle mass and dimension limits ». En ligne. 10p. <https://www.nhvr.gov.au/files/201607-0116-mass-and-dimension-limits.pdf>.
- National Heavy Vehicle Regulator (NHVR). 2013. « Mass Management Accreditation Guide ». En ligne. 22p. https://www.nhvr.gov.au/files/0001-mass_management_accreditation_guide.pdf.

- Nazair C. 2006. « Devis de recherche, Étude sur la configuration horizontales des pellicules rétro réfléchissantes à utiliser sur les repères visuels ». Direction du soutien à l'exploitation des infrastructures, ministère des Transports du Québec. 7 p.
- New-York City Department of Transportation (NYC DOT). 2017. « Off-hour Deliveries Program ». In *Le site du DOT de New-York City : Motorists & Parking*. <http://www.nyc.gov/html/dot/html/motorist/offhoursdelivery.shtml> .
- New York City Department of Transportation (NYC DOT). 2010. « NYC DOT Pilot Program Finds Economic Saving, Efficiencies For Truck Deliveries Made During Off-hours ». In *Le site du DOT de New-York City : Press Releases*. http://www.nyc.gov/html/dot/html/pr2010/pr10_028.shtml
- Niro F. 2018. « Le réseau de camionnage de l'agglomération de Montréal - Une rétrospective historique pour une planification intégrée ». Matinée Espace Surface – Camionnage en milieu urbain. Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines. Montréal. 15 février 2018.
- Nochahrli R. 2005. « Comparaison des logiciels de simulation en circulation Synchro et TSIS ». Mémoire de maîtrise dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. 65 p.
- Normandin, P.A. 2018. « Autoroute 25 : Un tremblement de terre en permanence ». In *La Presse + Actualités*. <http://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201805/15/01-5182018-autoroute-25-un-tremblement-de-terre-en-permanence.php>
- Novellas F. 2002. « Carrefours giratoires et sécurité routière... En France ». Colloque Les carrefours giratoires, AQTr et Association des ingénieurs municipaux du Québec, Montréal, 7 octobre 2002.
- Pannetier P. 1998. « L'asphalte en ville : un matériau pour un environnement durable ». RGRA, 762. pp. 1-3.
- Pannetier P. et Mariaud R. 1994. « L'asphalte, un milieu urbain ». RGRA, 722. pp. 55-59.
- Paquin Y. 2011a. « Les applications urbaines d'enrobés tièdes au Québec : bilan des projets 2005-2011 ». INFRA 2011, 17^e édition, Québec, 07-09 novembre 2011.
- Paquin Y. 2011b. « Le contrôle qualité des enrobés tièdes : adaptations simples au contrôle classique des enrobés à chaud, partie 1 ». Formation technique Bitume Québec 2011. Montréal, Québec. 1er décembre 2011.
- Paquin Y. 2011c. « Le contrôle qualité des enrobés tièdes : comparatif et perspectives, partie 2 ». Formation technique Bitume Québec. Montréal, Québec. 1er décembre 2011.
- Paradis M. 2009. « Les enrobés tièdes : état de situation au MTQ ». Formation Bitume Québec. Montréal. 24-26 novembre 2009.
- Peignier F. 2015. « La mobilité à Montréal, l'affaire de tous ». <https://aqtr.com/association/actualites/mobilite-montreal-laffaire-tous>

- Pellecuer L. 2003. « Étude de faisabilité de l'implantation des carrefours giratoires au Québec ». Mémoire de maîtrise dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. 162 p.
- Pellecuer L. et St-Jacques M. 2008. « Dernières avancées sur les carrefours giratoires ». Canadian Journal of Civil Engineering, Revue canadienne de génie civil. Volume 35, mai 2008, pp. 542-553.
- Permisecole. 2016. « Le code de la route en ligne ». France.
<http://www.permisecole.com/dossiers-thematiques-code-de-la-route/carrefour-a-sens-giratoire>
- Pomerantz M., Pon B., Akbari H. et Chang S.C. 2000. « The effect of pavements' temperatures on air temperatures in large cities ». Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL-43442. Berkeley, CA, USA. 20 p.
- Potti J.J. 1997. « Les enrobés coulés à froid en couleur basés au liant synthétique – Nouvelles applications ». International Slurry Surfacing Association (ISSA). 4^e Congrès Mondial. Paris, France. 16-19 mars 1997.
- Psaraki V., Pagoni I. et Schafer A. 2012. « Techno-economic assessment of the potential of intelligent transport systems to reduce CO₂ emissions ». Intelligent Transport Systems, IET, Vol. 6. No 4. December 2012. pp. 355-363.
- Renneson C. 1996. « Utilisation de la couleur sur chaussée en milieu urbain ». RGRA, No Hors série 2. pp. 64-66.
- Retting R.A., Bhagwant, P.N., Garder P.E. et Lord D. 2001. « Crash and Injury Reduction Following Installation of Roundabouts in the United States American Journal of Public Health. Vol. 91. No 4. pp. 628-631.
- RGRA. 1995. « La Route ça m'intéresse ». Revue Générale des Routes et des Aérodrômes. Paris. 4^e trimestre 1995. 175 p.
- Rich M., Maki R. et Morena J. 2002. « Development of a Pavement Marking Management System: Measurement of Glass Sphere Loading in Retroreflective Pavement Paints ». Transportation Research Record, vol. 1794, pp. 49-54.
- Robin J. 1996. « Les aménagements de sécurité de la voirie urbaine ». RGRA, 743. pp. 66-68.
- Rocher S. 2013. « L'expérience du piéton en entrée de ville : Le cas de l'avenue Honoré-Mercier à Québec ». Mémoire de maîtrise en urbanisme. Institut d'urbanisme de l'Université de Montréal. Janvier 2013. 98 p.
- Rolland J.F. 2017. « L'importance d'intégrer une infrastructure urbaine à son milieu ». Séminaire dans le cadre du cours GIU803 – Gestion des infrastructures urbaines, École de technologie supérieure. Montréal, 25 septembre 2017.
- Rosa S. 2014. « Un matériau ancestral... et futuriste – L'asphalte coulé ». ConstAs. No 28. Juin 2014. pp. 47-48.

- Rue de l'avenir 2008. « Aménagements et bonnes pratiques... pour une ville plus sûre et plus agréable à vivre ». Suisse. 28 p.
- Sarkar S. 2003. « Missed opportunity : Use of driver license manuals to educate drivers about roundabouts in small-and medium-sized communities ». *Transportation Research Record : Transport Research Board*, vol. 1858, pp. 112-117.
- Scheuer M., Maleck T. et Lighthizer D. 1997. « Paint-Line Retroreflectivity over Time ». *Transportation Research Record*, vol. 1585, pp. 53-63
- Serres A.M., Legillon H. et Faure B. 1993. « Couleur et clarté des surfaces routières ». RGRA, 709. pp. 27-28.
- SÉTRA 2005. « Enduits superficiels d'usure (ESU), Enrobés coulés à froid (ECF) – Actualisation des connaissances sur les revêtements superficiels ». Note d'information no 113, Bagneux, France. 10 p.
- SÉTRA CSTR. 1998. « Coloration des revêtements routiers et sécurité routière ». Note d'information no 112, Bagneux, France.
- Shell Bitumes. 2001. « Mexphalte C : Un sens plus clair à la route – Sécurité, Économie, Environnement ». Fiche technique. 4 p.
- Shell Bitumes. 1999. « Guide Pratique : Les enrobés colorés en ville ». 27 p.
- Sicilia, M. 2017. « Camionnage en milieu urbain : optimiser et sécuriser le déplacement des véhicules lourds ». Mémoire de maîtrise dirigé par le professeur Michèle St-Jacques, École de technologie supérieure, Montréal, Québec. 214 p.
- Sicilia M. & St-Jacques M. 2018a. « Équipements de sécurité : Améliorer la sécurité des véhicules lourds circulant en milieu urbain ». *Matinée Espace Surface – Camionnage en milieu urbain*. Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines. Montréal. 15 février 2018.
- Sicilia M. & St-Jacques M. 2018b. « Camionnage en milieu urbain : sécuriser les véhicules lourds et contribuer à la cohabitation entre tous les usagers de la route ». 53^e congrès de l'AQTr, Québec, 9 -11 avril 2018.
- Sioui, M.M. 2014. « Des dispositifs sur les camions pour protéger cyclistes et piétons ». In *Le site du journal La Presse : Actualités*. En ligne. <http://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201408/13/01-4791606-des-dispositifs-sur-les-camions-pour-protoger-cyclistes-et-pietons.php>.
- Soulier N. 2012. « Reconquérir les rues – Exemples à travers le monde et pistes d'actions ». Les Éditions Ulmer. Paris. 285 p.
- Sousa L.R. et Rosales J. 2011. « Contextually Complete Streets ». *Green Streets and Highways Conference 2010*. Denver, Colorado, USA. ASCE Library 2011. pp. 94-106

- St-Jacques M. 2017a. « Aménagements routiers, notes de cours, tome I ». Département de génie de la construction, École de technologie supérieure, Montréal, Québec, 218 p.
- St-Jacques M. 2017b. « Aménagements routiers, notes de cours, tome II ». Département de génie de la construction, École de technologie supérieure, Montréal, Québec, 162 p.
- St-Jacques M. 2016 « Comportement d'un conducteur québécois à proximité d'un panneau STOP ». INFRA 2016, 22e édition, Montréal, 21 - 23 novembre 2016.
- St-Jacques M. 2015. « Le bitume et les enrobés bitumineux, notes de cours ». Département de génie de la construction, École de technologie supérieure, Montréal, Québec, 130 p.
- St-Jacques M. 2014. « Transport urbain à Montréal: d'hier à demain ». INFRA 2014, 20e édition, Montréal, 1-3 décembre 2014.
- St-Jacques M. 2009a. « Coloured Asphalt Applications ». Institute of Transportation Engineers ITE 2009. Montréal, 31 mai - 3 juin 2009.
- St-Jacques M. 2009b. « Utilisation des revêtements bitumineux colorés dans les aménagements routiers ». 44e Congrès annuel de l'AQTr, Montréal, 6-8 avril 2009.
- St-Jacques M. 1995a. « Étude de circulation et d'aménagement - Centre commercial régional ». Rapport #395662 présenté par SNC-Lavalin à Ivanhoé Inc., Mascouche, Québec, Canada. Mai 1995. 65 p.
- St-Jacques M. 1995b. « Étude d'impact sur les accès aux Galeries Rive-Nord et à la Place Brien ». Rapport présenté par SNC-Lavalin à Ivanhoé Inc., Repentigny, Québec, Canada, 21 p.
- St-Jacques M. 1995c. « Étude de synchronisation des feux de circulation du boulevard René-Lévesque à Québec ». Rapport #265564 présenté par SNC-Lavalin à la Ville de Québec, Québec, Canada, 83 p.
- St-Jacques M. 1995d. « Synchronisation de deux carrefours à Sainte-Foy à l'aide des logiciels HCM-Cinema et Passer II-90 ». Rapport présenté par SNC-Lavalin à la Ville de Sainte-Foy. Québec.
- St-Jacques M. 1994a. « Réaménagement du boulevard René-Lévesque et de l'autoroute Dufferin - Montmorency - Volet transport ». Rapport présenté par SNC-Lavalin à la Ville de Québec, Québec, Canada, 93 p.
- St-Jacques M. 1994b. « Réaménagement du boulevard René-Lévesque et de l'autoroute Dufferin-Montmorency - Volet transport ». Comité exécutif, Ville de Québec, Québec, Canada, avril 1994.
- St-Jacques M. 1992a. « Plan directeur d'aménagement et de développement du quartier Vieux-Québec/Basse-Ville - Volet Transport ». Rapport présenté par SNC-Lavalin à la Ville de Québec, Québec, 108 p.

- St-Jacques M. 1992b. « Volet transport du plan directeur d'aménagement et de développement des quartiers Vieux-Québec/Basse-Ville et Cap-Blanc ». Comité exécutif et comité consultatif du quartier, Ville de Québec, Québec, Canada, novembre 1992.
- St-Jacques M. 1991a. « Révision du Plan directeur de circulation de l'Île des Sœurs ». Rapport #57987 présenté par Lavalin à la Ville de Verdun. Québec. Avril 1991. 57 p.
- St-Jacques M. 1991c. « Synchronisation de 8 carrefours de la ville de Sainte-Foy, Québec, à l'aide des logiciels PASSER II-90 et HCS 2.1 ». Rapport présenté par Lavalin à la Ville de Sainte-Foy. Québec.
- St-Jacques M. 1989a. « Synchronisation de cinq nouveaux feux de circulation sur le boulevard des Sources à Pointe-Claire ». Rapport présenté par Lavalin à la Ville de Pointe-Claire.
- St-Jacques M. 1988. « Plan directeur de circulation de l'Île des Sœurs - Rapport final ». Rapport 56197 présenté par Lavalin à la Ville de Verdun. Québec. Novembre 1988. 75 p.
- St-Jacques M. 1987a. « Synchronisation de 10 carrefours du boulevard Wilfrid-Hamel à Québec et Ville Vanier, Québec, à l'aide du logiciel PASSER II-84 ». Rapport présenté par Lavalin à la Ville de Québec.
- St-Jacques M. 1987b. « Étude de synchronisation de 9 intersections sur le boulevard Saint-Jean à Pointe-Claire et Dollard-des-Ormeaux, Québec ». Rapport présenté par Lavalin.
- St-Jacques M., Assaf G.J. et Groleau J. 2007. « Étude sur la configuration des bandes horizontales des pellicules rétro réfléchissantes à utiliser sur les repères visuels ». Rapport final N/Réf. :5.2.0 R539.1. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure au Service des technologies d'exploitation de la direction du soutien à l'exploitation des infrastructures du ministère des Transports du Québec, avril 2007, 164 p.
- St-Jacques M., Assaf G.J., Pellecuer L. et Roy J.P. 2008. « Étude sur les différentes méthodes de relevés et d'indicateurs de performance sur la durabilité et la rétroréflexion dans le domaine du marquage longitudinal ». Rapport final. N/Réf. :R618.1. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure au Service de l'exploitation de la Direction du soutien aux opérations du ministère des Transports du Québec, juillet 2008, 66 p.
- St-Jacques M. et Bertrand M. 2003. « Formulation d'un enrobé bitumineux coloré pour le Québec ». Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, BLPC no 4484, Paris, France. 12 p.
- St-Jacques M. et Bertrand M. 2002a. « Formulation d'un enrobé bitumineux coloré pour le Québec et performance en laboratoire ». 30^e Conférence annuelle de la SCGC, Montréal, 5-8 juin 2002.
- St-Jacques M. et Bertrand M. 2002b. « Formulations d'enrobés bitumineux colorés de type ESG-10 pour le Québec ». INFRA 2002, Montréal, 27 novembre 2002. CD Recueil des communications/Proceedings.

- St-Jacques M. et Bertrand M. 2001. « Essais sur granulats colorés pour utilisation dans la formulation d'enrobés bitumineux colorés au Québec ». INFRA 2001, Montréal, 28 novembre 2001. CD Recueil des communications/Proceedings.
- St-Jacques M. et Bourque P.A. 2001. « Analyse de quatre réaménagements géométriques de boulevards traditionnels en boulevards urbains ». Revue Routes et Transports, vol. 30, no 2, Montréal, Québec, 2001, pp. 9-20.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2017. « Le bruit routier en 2016 (Partie 2 de 2) ». Revue Via Bitume. Vol. 12 No 2, Juillet 2017. ISSN 1718-0902.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2016. « Le bruit routier en 2016 (Partie 1 de 2) ». Revue Via Bitume. Vol. 11 No 3, Novembre 2016, pp. 17-20. ISSN 1718-0902.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2013. « Aménagements routiers en revêtements bitumineux colorés ». Revue Via Bitume. Vol. 8 No 1, mars 2013, pp. 40-43.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2012a. « Développement durable dans les chaussées québécoises et françaises en 2010 ». Revue Via Bitume, vol. 7, no 1, pp. 14-19.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2012b. « Les enrobés bitumineux et le développement durable – Le Québec a de quoi être fier ». 68^e congrès annuel de l'ACRGTQ, Québec, 18-20 janvier 2012.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2012c. « Usage de revêtements bitumineux colorés sur des voies dédiées ». INFRA 2012, 18^e édition, Montréal, 19-21 novembre 2012.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2011. « Développement durable dans les chaussées québécoises et françaises ». INFRA 2011, 17^e édition, Québec, 07-09 novembre 2011.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2008. « Les revêtements bitumineux colorés ». Revue Via Bitume. Vol. 3 No 3, octobre 2008, pp. 14-15.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2006. « Coloured Bituminous wearing courses in France, Overview of uses ». 10th International Conference on Asphalt Pavements, Québec, Canada, 12-17 August 2006.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2004. « Coloured Bituminous wearing courses in France, Overview of uses ». 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna, Austria, 12-14 May 2004.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2003. « Revêtements bitumineux colorés : Domaines d'application en France et Développements au Canada ». INFRA 2003, Montréal, 19 novembre 2003. CD Recueil des communications/Proceedings.
- St-Jacques M. et Brosseau Y. 2002. « Enrobés colorés : Expériences françaises et développement possible au Canada ». 30^e Conférence annuelle de la SCGC, Montréal, 5-8 juin 2002.

- St-Jacques M. et des Rivières M. 1993a. « Proposition de plan directeur d'aménagement et de développement des quartiers Vieux-Québec/Basse-Ville et Cap-Blanc - Annexe technique Transport ». Ville de Québec, Québec, 163 p.
- St-Jacques M. et des Rivières M. 1993b. « Proposition du plan directeur pour les quartiers Vieux-Québec/Basse-Ville et Cap-Blanc - Volet Transport ». Église Notre-Dame-de-la-Garde, Québec, Canada, mars 1993.
- St-Jacques M., Drainville S. et Pellecuer L. 2002. « Carrefours giratoires au Québec : avantages et contraintes ». Colloque Les carrefours giratoires, AQTr et Association des ingénieurs municipaux du Québec, Montréal, 7 octobre 2002.
- St-Jacques M. et Groleau J. 2013. « Configuration des bandes rétroréfléchissantes utilisées sur les repères visuels du MTQ et d'ailleurs ». INFRA 2013, 19e édition, Québec, 2-4 décembre 2013.
- St-Jacques M. et Lemaire V. 2004. « Problématique des plaques odonymiques ». Colloque Signalisation des noms de rue : les bonnes pratiques, AQTr, Laval, 13 décembre 2004.
- St-Jacques M. et Lévesque H. 2005. « Détermination d'un coût selon la typologie d'accident à partir des statistiques d'accidents québécois ». 40e Congrès annuel de l'AQTr, Laval, 10-12 avril 2005.
- St-Jacques M. et Lévesque H. 2004. « Analyse des statistiques d'accidents pour la détermination d'un coût selon la typologie d'accident ». CD Proceedings of the Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XIV, Ottawa, Ontario, June 27-30, 2004.
- St-Jacques M., Lévesque H., Laferrière D. 2005. « Détermination d'un coût d'accident en fonction d'une typologie d'accident et impact sur la sécurité routière ». Rapport final. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure au Service des politiques de sécurité du ministère des Transports du Québec, mars 2005, 297 p.
- St-Jacques M. et Loïselle L. 1986a. « Résultats de l'enquête auprès des covoitureurs de la région de Montréal ». Revue Routes et Transports, Vol. XVI No 2/EtJ 1986, Québec.
- St-Jacques M. et Loïselle L. 1986b. « Enquête auprès des covoitureurs de la région de Montréal », Bulletin Recherches Transport/RTQ 86 01, Transports Québec, Québec.
- St-Jacques M. et Loïselle L. 1985a. « Enquête auprès des covoitureurs de la région de Montréal: méthodologie ». Ministère des transports du Québec. Direction générale du transport terrestre des personnes. Août 1985. 43 p.
- St-Jacques M. et Loïselle L. 1985b. « Enquête auprès des covoitureurs de la région de Montréal: résultats ». Ministère des transports du Québec. Direction générale du transport terrestre des personnes. Août 1985. 122 p.
- St-Jacques M., Pellecuer L., Drainville S., Beaulieu G., Godard S. et Charbonneau Beaulieu I. 2013. « Conséquences environnementales et impacts sur la santé de l'utilisation des enrobés tièdes lors de la construction de routes – État des connaissances scientifiques et

- pratiques et Résultats des essais en laboratoire ». Rapport N/Réf: R705.1. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure au Service des matériaux d'infrastructures du Laboratoire des chaussées du ministère des Transports du Québec, décembre 2013, 129 p.
- St-Jacques M., Pellecuer L. et Turcot C. 2014. « Portrait des pratiques de gestion, de signalisation et de contrôle de la circulation dans la région de Montréal ». Rapport N/Réf: E.A.04 C. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure à la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM) et au Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU), décembre 2014, 71 p.
- St-Jacques M. et Sicilia M. 2018a. « Problématique du camionnage en milieu urbain ». Matinée Espace Surface – Camionnage en milieu urbain. Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines. Montréal. 15 février 2018.
- St-Jacques M. et Sicilia M. 2018b. « Mesures pour réduire la problématique du camionnage en milieu urbain ». Colloque Partage de la rue : la sécurité avant tout ! Association québécoise des transports (AQTr). 15 novembre 2018.
- St-Jacques M. et Sicilia M. 2019. « The Problem of Urban Trucking in Quebec ». *Transportation Research Part D: Transport and Environment. An International Journal*. Elsevier. (soumis 2019).
- St-Jacques M. et Tremblay S. 2000. « L'utilisation des logiciels HCM/Cinema et SIDRA pour l'analyse d'un carrefour signalisé urbain ». *Revue Routes et Transports*, Volume vingt-neuf, numéro trois, Été 2000, Montréal, Québec, pp. 9-20.
- Stout T.B., Pawlovich M., Souleyrette R.R. et Carriquiry, A. 2006. « Safety Impacts of « Road Diets » in Iowa ». *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*. Vol. 76, No 12. pp. 24-28.
- Summerskill, S. & Marshall. R. 2015. « The development of a truck concept to allow improved direct vision of vulnerable road users by drivers ». In *The Sixth International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences*. (Las Vegas, July 26-30 2015), p. 3718-3725. Las Vegas (US) : Elsevier Ltd.
- Summerskill, S. & Marshall. R. 2014. « The design of category N3 vehicles for improved driver direct vision ». En ligne. 119p. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/Loughborough%20Design%20School%20and%20T%26E-Report%20The%20design%20of%20category%20N3%20vehicles%20for%20improved%20driver%20direct%20vision-FINAL_5_09_2014.compressed.pdf.
- Taekratok T. 1998. « Modern Roundabouts for Oregon ». OR-RD-98-17. Oregon Department of Transportation.
- Texas Department of Transportation. 2004. « Pavement Marking Handbook ». 108 p.

- Thouret D., Luizard D., Goutti P., Louilot K. et Jokiel M. 1994. « Des couleurs pour Bordeaux avec l'enrobé Colclair ». RGRA, 723. pp. 62-63.
- Tighe S., Moore G., MacTaggart C. et Davidson K. 2008. « Evaluating Warm Asphalt Technology as a Possible Tool for Resolving Longitudinal Joint Problems ». Canadian Technical Asphalt Association. Saskatoon, Saskatchewan. 16-19 novembre 2008. Sous la direction de Stephen Goodman, pp. 380-402.
- Transportation Research Board. 2016. « Highway Capacity Manual (HCM 2016) ». 6th Edition. Washington, D.C. (4 volumes), 1921 p.
- Transport & Environment. FKA. 2011. « Final Report : Design of a tractor for Optimised Safety and Fuel Consumption ». En ligne. 148p. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/2012%2002%20FKA%20Smart%20Cab%20study_web.pdf.
- Transports Québec. 2018a. « Les niveaux de service ». Normes Ouvrages routiers, tome I, chap. 3, 7 p.
- Transports Québec. 2018b. « Signaux lumineux ». Normes Ouvrages Routiers, tome V, chap. 8. 116 p.
- Transports Québec. 2018c. « Carrefours plans ». Normes Ouvrages routiers, tome I, chap. 8, 66 p.
- Transports Québec. 2018d. « Prescription ». Normes Ouvrages Routiers, tome V, chap. 2. 74 p.
- Transports Québec. 2018e. « Marques sur la chaussée ». Normes Ouvrages routiers, tome V, chap. 6. 90 p.
- Transports Québec. 2018f. « Peintures et produits de marquage ». Normes Ouvrages routiers, tome VII, chap. 10.
- Transports Québec. 2018g. « Indication ». Normes Ouvrages routiers, tome V, chap. 5. 205 p.
- Transports Québec. 2018h. « Travaux ». Normes Ouvrages routiers, tome V, chap. 4. 320 p.
- Transports Québec. 2018i. « Stationnement ». Normes Ouvrages routiers, tome I, chap. 14. 7 p.
- Transports Québec. 2018j. « Voies cyclables ». Normes Ouvrages routiers, tome V, chap. 7. 76 p.
- Transports Québec. 2002. « Le carrefour giratoire : un mode de gestion différent ». Guide de conception. Version 1. Octobre 2002. 143 p.
- Tremblay M. 2002. « État de la situation de la signalisation horizontale au Québec ». 30^e Conférence annuelle de la SCGC. 2^e conférence spécialisée en génie des matériaux de la Société canadienne de génie civil, Montréal, Québec. 5-8 juin 2002.

- Tremblay S. et St-Jacques M. « Comparaison entre les logiciels HCS et SIDRA pour le calcul de capacité aux intersections ». Congrès AQTr 2000, Québec, 3-4 avril 2000.
- Turcot C. et St-Jacques, M. 2015. « Aménagement de voies cyclables pour faire du vélo un mode de transport utilitaire au Québec ». Revue Routes et Transports, Vol. 44 No 2. Été 2015. Québec. pp. 16-18.
- Turmel E., Frinault T. et Deneuvilliers C. 1995. « Les revêtements de sols coulés à base de résines synthétiques ». RGRA, 734. p. 27.
- Union européenne. Commission Européenne. 2011. « APROSYS Report Summary : Final Report Summary – APROSYS (Advanced Protection Systems) ». In Le site de la Commission Européenne : Projets et Résultats. http://www.cordis.europa.eu/result/rcn/47920_en.html.
- Union européenne. Parlement européen. À jour au 6 août 2008. Directive 2007/38/CE. En ligne. Journal officiel de l'Union européenne. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:32007L0038>.
- Union européenne. Parlement européen. À jour au 20 août 2009. Règlement (CE) 661/2009. En ligne. Journal officiel de l'Union européenne. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32009R0661>.
- U.S. Department of Transportation. 2015. « Comprehensive Truck Size and Weight Limits Study: Volume 1 – Technical Reports Summary ». En ligne. 92p. https://ops.fhwa.dot.gov/freight/sw/map21tswstudy/technical_rpts/vol1technicalsummary.pdf
- VECTRA. 2016. « ECODYN mlpc® - Visibilité des marquages ». <http://vectrafrance.com/materiels-et-solutions/auscultation-des-chaussees/ecodyn-mlpcR-visibilite-des-marquages>
- Ville de Montréal. 1995. « Les rues de Montréal – Répertoire historique ». 547 p.
- Vuong B., Sharp K., Rebbechi J. et Boer S. 2012. « Review of overseas trials of Warm Mix Asphalt Pavements and Current Usage by Austroads members ». 71 p. <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-T215-12>.
- Wielinski J., Hand A. et Rausch D.M. 2009. « Laboratory and Field Evaluations of Foamed Warm-Mix Asphalt Projects ». Transportation Research Record, no 2126, pp. 125-131.
- Yu J., Williams, R.C. et Buss, A.F. 2012. « Laboratory evaluation of Warm Mix Asphalt influence on theoretical maximum specific gravity ». Journal of Testing and Evaluation, vol. 40, no 4.
- Zaumanis M., Jansen J. et Smirnovs J. 2011. « Calculation model of energy consumption inventory for comparison of Warm Mix Asphalt and Hot Mix Asphalt ». Environmental Engineering - The 8th International Conference. Vilnius, Lithuania.

Zein S.R., Geddes E., Hemsing S. et Johnson M. 1997. « Safety Benefits of Traffic Calming ». Transportation Research Record 1578. Journal of the Transportation Research Board, USA. pp. 3-10.

Zundel P. 1999. « Asphalte coloré : une contribution à la qualité de l'environnement ». Asphalte – informations, Paris, France.

BIBLIOGRAPHIE

- Akçeli, R., Chung E. et Besle, M. 1998. « Roundabouts : Capacity and Performance Analysis ». *Road and Transport Research*, 7(1), pp.56-64.
- Akisetty C.K., Xiao F., Gandhi T. et Amirghanian S.N. 2011. « Estimating correlations between rheological and engineering properties of rubberized asphalt concrete mixtures containing warm mix asphalt additive ». *Construction and Building Materials*. 25(2), pp. 950-956.
- Al-Masaeid H.R. 1999. « Capacity and Performance of Roundabouts ». *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26(5), pp. 597-605.
- Al-Masaeid H.R. et Faddah M.Z. 1996. « Capacity of Roundabouts in Jordan ». *Transportation Research Record*, 1572, pp. 76-85.
- Al-Qadi I.L., WangvH., Baek J., Leng Z., Doyen M. et Gillen S. 2012. « Effects of Curing Time and Reheating on Performance of Warm Stone Matrix Asphalt ». *Journal of Materials in Civil Engineering*, p. 443.
- Al-Qadi I.L., Baek J., Leng Z., Wang H., Doyen,M., Kern J. et Gillen S. L. 2012. «Short-Term Performance of Modified Stone Matrix Asphalt (SMA) Produced with Warm Mix Additives». 57 p.
<http://ict.illinois.edu/publications/report%20files/ICT-12-001.pdf>.
- Alvarez-Lugo A., Cao R., Button J.W. et Estakhri C.K. 2010. « Production, Placement, and Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt in Texas ». In *Material Design, Construction, Maintenance, and Testing of Pavements*. pp. 1-8.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41045%28352%291>.
- Amirghanian S.N., Akisetty C.K. et Lee S.-J. 2008. « Volumetric Properties of Warm Rubberized Mixes Depending on Compaction Temperature ». pp. 205-212.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41005%28329%2918>.
- Amirghanian S.N., Xiao F. et Zhang R. 2011. « Rheological Investigation of Non-Foaming WMA Additives at Mid-Temperature ». In *Emerging Technologies for Material, Design, Rehabilitation, and Inspection of Roadway Pavements*. pp. 1-8.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/47629%28408%291>.
- Arabani M., Roshani H. et Hamedi G.H. 2011. « Estimating Moisture Sensitivity of Warm Mix Asphalt Modified with Zycosoil as an Antistrip Agent Using Surface Free Energy Method ». *Journal of Materials in Civil Engineering*, p. 392.
- Arega Z., Bhasin A., Motamed A. et Turner F. 2011. « Influence of Warm-Mix Additives and Reduced Aging on the Rheology of Asphalt Binders with Different Natural Wax Contents ». *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, n° 10, pp. 1453-1459.

- Arndt O.K. et Troutbeck R.J. 1995. « Relationship Between Roundabout Geometry and Accident Rates ». International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Boston, MA.
- ARRB TRANSPORT RESEARCH LTD, éd. SIDRA, Signalised & Unsignalised Intersection Design & Research Aid, Australia, 1999.
- Association des Transports du Canada. 2008. « Synthesis of North American roundabout practice ». Ottawa, TAC ATC, 86 p.
- Association des Transports du Canada. 1999. « Guide canadien de conception géométrique des routes ». Mise à jour en collaboration avec l'AQTR en décembre 2011.
- ASTM International. 2006a. « Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control ». D 4956-05, West Conshohocken. 12 p.
- ASTM International. 2006b. « Standard Test Method for Coefficient of Retroreflection of Retroreflective Sheeting Utilizing the Coplanar Geometry ». E 810-03, West Conshohocken. 8 p.
- Aurangzeb Q., Kern J., Ozer H., Al-Qadi I.L., Zehr T.G., Trepanier J.S. et Pine W.J. 2011. « Laboratory evaluation of warm mix asphalt and asphalt mixtures with recycled materials ». In 1st Congress of the Transportation and Development Institute of ASCE, March 13, 2011 - March 16, 2011. Chicago, IL, United States, pp. 751-761. Coll. T and DI Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow - Proceedings of the 1st Congress of the Transportation and Development Institute of ASCE : American Society of Civil Engineers (ASCE).
[http://dx.doi.org/10.1061/41167\(398\)72](http://dx.doi.org/10.1061/41167(398)72)
- Aurilio V. et Michael L.L. 2008. « Sasobit Warm Mix Asphalt Technology: Victoria Street Trial in the City of Ottawa ». In Canadian Technical Asphalt Association. (Saskatoon, Saskatchewan, 16-19 novembre 2008. pp. 250-266.
- Bahia H. et Velasquez R. 2010. « Understanding the Mechanism of Low Temperature Physical Hardening of Asphalt Binders ». In Canadian Technical Asphalt Association. Edmonton, Alberta, Novembre 2010, sous la direction de Stephen Goodman, pp. 165-186.
- Banerjee A., de Fortier Smit A. et Prozzi J.A. 2012. « The effect of long-term aging on the rheology of warm mix asphalt binders ». Fuel, vol. 97, pp. 603-611.
- Bared J.G., Kaisar E.I. 2002. « Does your Interchange Design have you going around in circles ». Public Roads, 66(3), pp. 43-47.
- Bascoul D. 2012. « Témoignage d'un maître d'ouvrage ». In Les enrobés tièdes : formulations, caractéristiques, fabrication et mise en œuvre. École des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- Bayer Inc. 1994. « Coloration des enrobés à chaud, Notice technique ». Division Produits Minéraux, Oxydes de fer, France.

- Belovski J. et Chevalier N. 2000. « Faisabilité des carrefours giratoires ». Article présenté au 35^e Congrès Annuel de l'AQTr, Québec, Québec.
- Bennert T., Maher A. et Sauber R. 2011. « Influence of production temperature and aggregate moisture content on the initial performance of warm-mix asphalt ». *Transportation Research Record*, n° 2208, pp. 97-107.
- Biro S., Gandhi T. et Amirhanian S. 2009. « Midrange Temperature Rheological Properties of Warm Asphalt Binders ». *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 21, n° 7, pp. 316-323.
- Bisson J.G. 2002. « Le carrefour giratoire de Val-d'Or ». Colloque Les carrefours giratoires, AQTr et Association des ingénieurs municipaux du Québec, Montréal, 7 octobre 2002.
- Bisson J.G. et Iracà H. 2003. « Le carrefour giratoire et le passage des véhicules hors normes ». *Innovation Transport*, 15, pp. 11-15.
- Bissonnette A. et Lamoureux M.H. 2012. « Code de la sécurité routière annoté 2012 ». 13^e édition. Les éditions Yvon Blais inc., 1066 p.
- Bitume-Québec. 2008. « Guide de bonnes pratiques, la mise en œuvre des enrobés ». http://www.bitumequebec.ca/assets/application/files/d8bf1fe79a337fc_file.pdf
- Boender J.P. 1999. « Carrefours giratoires : les nouvelles directives néerlandaises ». *Routes/Roads*, 301, pp. 57-63.
- Bonvallet J. 2012. « Quels matériels pour les enrobés tièdes ? ». In *Les enrobés tièdes : formulations, caractéristiques, fabrication et mise en œuvre*. École des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- Bordeleau B. 2003. « Évaluation et évolution de 1985 à 2000 des coûts de l'insécurité routière au Québec ». 38^e Congrès annuel de l'AQTr, Sherbrooke, Québec.
- Bower N. 2011. « Laboratory Evaluation of Performance of Warm Mix Asphalt in Washington State ». Washington State University.
- Bower N., Wen H., Willoughby K., Weston J. et DeVol J. 2012. « Evaluation of the Performance of Warm Mix Asphalt in Washington State ». 103 p. <http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/789.1.pdf>
- Brilon W. et Vandehey M. 1998. « Roundabouts : The State of the Art in Germany ». *Institute of Transportation Engineers Journal*, 68(11), pp. 48-54.
- British Columbia Ministry of Transportation and Highways. 1999. « Traffic Control Manual for Works on Roadways ». Victoria, B.C.
- British Columbia Ministry of Transportation and Highways. 2006. « Traffic Control Manual for Works on Roadways ». Technical Circular T-09/05, Victoria, B.C. 5 p.

- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2013. « Les enrobés à module élevé en milieu urbain : bilan après 25 ans d'expérience française ». INFRA 2013, 19^e édition, Québec, 02-04 décembre 2013.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2012. « Retraitement en place de boulevard urbain, l'expérience nantaise et le projet de recherche-développement ». INFRA 2012, 18^e édition, Montréal, 19-21 novembre 2012.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2008. « Warm-Mix Asphalt: overview of this new technology in France ». Transport Research Arena (TRA) Europe 2008. Ljubljana, Slovenia, April 21 to 24, 2008.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2007a. « Will Bituminous Mixes be made differently tomorrow: State of the art for Warm-Mix Asphalt in France ». 23^e Congrès mondial de la route. AIPCR, Paris, France, 21-27 septembre 2007.
- Brosseaud Y. et St-Jacques M. 2007b. « Will Bituminous Mixes be made differently tomorrow: State of the art for Warm-Mix Asphalt in France ». Europeanroads review 10. Spring 2007. RGRA. pp. 42-53.
- Brosseaud Y., St-Jacques M. et Leroy C. 2007. « Les matériaux bitumineux tièdes arrivent en ville : premières applications d'asphaltes et enrobés tièdes en ville de Paris ». 13^e édition de la Semaine des infrastructures urbaines, INFRA 2007, Laval, 05-07 novembre 2007.
- Brüde U. et Larsson J. 2000. « What Roundabout Design Provides the Highest Possible Safety? » Nordic Road & Transport Research, 2, pp. 17-21.
- Buddhala A., Hossain Z., Wasiuddin N.M., Zaman M. et O'Rear E.A. 2012. « Effects of an Amine Anti-stripping Agent on Moisture Susceptibility of Sasobit and Aspha-Min Mixes by Surface Free Energy Analysis ». Journal of Testing and Evaluation, vol. 40, n° 1, JTE103618. 9 p.
- Bueche N. 2009. « Warm Asphalt Bituminous Mixtures with Regards to Energy, Emissions and Performance ». In Young Researchers Seminar 2009. Torino, Italy, 03-05 juin 2009. Sous la direction de LAVOC, EPFL.
- Butz T., Rahimian I. et Hildebrand G. 2001. « Modification of road bitumens with the Fischer-Tropsch paraffin Sasobit (R) ». Journal of Applied Asphalt Binder Technology, vol. 1, no 2, pp. 70-86.
- Cai M., Yan J., Dong Q., Huang W., Zhu T., Cao Y. et Cao Z. 2012. « Shanghai Experience with Warm Mix Asphalt ». In Paving Materials and Pavement Analysis. pp. 97-102. <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41104%28377%2913>
- Capitão S.D., Picado-Santos L.G. et Martinho F. 2012. « Pavement engineering materials: Review on the use of Warm-Mix Asphalt ». Construction and Building Materials, vol. 36, pp. 1016-1024.
- CERTU. 2000b. « Conception structurelle d'un giratoire en milieu urbain ». Lyon, France.

- CERTU. 1999. « Guide : Carrefours urbains ». Lyon, France. 239 p.
- CERTU. 1997. « Guide : Les mini-giratoires - Textes et recommandations ». Lyon. 19 p.
- CETUR. 1992. « La sécurité des carrefours giratoires implantés en milieu urbain ». Centre d'Études Techniques de l'Équipement (CETE de l'Ouest)., Bagneux. 61 p.
- CETUR. 1991. « Éclairage des carrefours à sens giratoire - Guide technique ». Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). Bagneux. 61 p.
- Cheng J., Shen J. et Xiao F. 2011. « Moisture Susceptibility of Warm-Mix Asphalt Mixtures Containing Nanosized Hydrated Lime ». *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, no 11, pp. 1552-1559.
- Christory J.-P. et Romier A. 2012. « Enrobés "semi-tièdes" une décennie de démarche globale ». *Revue générale des routes et de l'aménagement*, no 902, pp. 28-34.
- Clark R.S., Hughes T. et Weatherbee J. 2010. « Evaluation of Asphalt Cement Characteristics and Field and Laboratory Performance of High RAP Warm Mix Asphalt Using Hypertherm™ WMA Technology ». In Canadian Technical Asphalt Association. Edmonton, Alberta, novembre 2010. Sous la direction de Stephen Goodman. pp. 495-512.
- Contant A. 2011. « Contrôle qualitatif des matériaux et suivi de performance – Structure de chaussée à très faible énergie – Rues de Rouen et des Érables, Montréal, Québec ». Rapport du Groupe Qualitas, 234 p.
- Copeland A., D'Angelo J., Dongre R., Belagutti S. et Sholar G. 2010. « Field Evaluation of High Reclaimed Asphalt Pavement-Warm-Mix Asphalt Project in Florida: Case study ». *Transportation Research Record*, no 2179, pp. 93-101.
- Das P.K., Tasdemir Y. et Birgisson B.. 2012. « Low temperature cracking performance of WMA with the use of the Superpave indirect tensile test ». *Construction and Building Materials*, vol. 30, pp. 643-649.
- Davidson J.K., et Pedlow R. 2007. « Reducing Paving Emissions Using Warm Mix Technology ». In Canadian Technical Asphalt Association. Niagara Falls, Ontario. 18-21 novembre 2007. Sous la direction de Stephen Goodman, vol. 52, pp. 39-60.
- De Aragao P. 1993. « Ronds-points et giratoires : un aperçu historique ». In Actes du séminaire « Giratoire 92 ». Nantes, 14-16 octobre 1992, pp. 17-27.
- De Leeuw, M.A., Botma H. et Bovy P.H.L. (1999). « Capacity of Single-Lane Roundabouts with Slow Traffic ». *Transportation Research Record* (1678), pp. 55-63.
- Delfosse F. 2012. « Retour d'expériences sur 10 ans de réalisations terrain. Les enrobés tièdes : formulations, caractéristiques, fabrication et mise en œuvre ». École des Ponts et Chaussées. In Les enrobés tièdes : formulations, caractéristiques, fabrication et mise en œuvre. École des Ponts et Chaussées, Paris, France.

- Delfosse F., Mazé M. et Layerle E. 2012. « Impact de la température d'enrobage sur l'adhésion bitume/granulat ». *Revue générale des routes et de l'aménagement*, no 902, pp. 46-53.
- Deneuvillers C., Pierri M. et Desmoulin D. 2010. « Nouveaux enrobés semi-tièdes pour couche de roulement à hautes performances environnementales ». *Revue générale des routes et de l'aménagement*, no 882, pp. 32-38.
- Diefenderfer S. et Hearon A. 2012. « Laboratory Evaluation of Warm Asphalt Properties and Performance ». In *Airfield and Highway Pavements*. pp. 182-194.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41005%28329%2916>
- Dou H., Li B., Ren W. et Wang Q. 2011. « The effect of compaction temperature on volume parameters of Warm Asphalt Mix with Sosabit ». In *2011 International Conference on Civil Engineering and Building Materials, CEBM 2011, Kunming, China. July 29, 2011 - July 31, 2011*. Vol. 255-260, pp. 3249-3253. Coll. « Advanced Materials Research »: Trans Tech Publications.
<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.255-260.3249>
- Doucet F. et Auger B. 2010. « Détermination du module complexe des enrobés au ministère des Transports du Québec ». Service des matériaux d'infrastructures. Direction du laboratoire des chaussées. Ministère des Transports du Québec. Mai 2010.
- Dubois J.F. 2003. « Les carrefours giratoires ». *Infrastructures*, 8(5). pp.20-21.
- EAPA. 2010. « The use of Warm Mix Asphalt : EAPA Position Paper ». http://www.eapa.org/usr_img/position_paper/the_use_of_warm_mix_asphalt_january_2010.pdf.
- Elbadrawi H.R. 2000. « A Computer Simulation Model for Single-Lane Roundabouts ». Thèse de doctorat, Florida International University, Miami, FL.
- Elvik R. 2003. « Effects on Road Safety of Converting Intersections to Roundabouts : A Review of Evidence from non-US Studies ». 82nd TRB Annual Meeting, Washington, DC.
- Estakhri, C.K., Cao R., Alvarez-Lugo A. et Button J.W. 2009. « Production, placement, and performance evaluation of Warm Mix Asphalt in Texas ». In *2009 GeoHunan International Conference - Material, Design, Construction, Maintenance, and Testing of Pavement*. Changsha, Hunan, China. August 3, 2009 - August 6, 2009. pp. 1-8. Coll. Geotechnical Special Publication: American Society of Civil Engineers.
[http://dx.doi.org/10.1061/issno\(352\)1](http://dx.doi.org/10.1061/issno(352)1)
- Fang J., Cao W. et Liu S. 2010. « Orthogonal Test Research of Asphalt Rubber Modified by Warm Asphalt Additive ». In *ICCTP 2010*. pp. 3480-3492.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41127%28382%29376>
- Farshidi F., Jones D., Kumar A., Green P.G. et Harvey J.T. 2011. « Direct measurements of volatile and semivolatile organic compounds from hot- and warm-mix asphalt ». *Transportation Research Record*, no 2207, pp. 1-10.

- Federal Highway Administration. 2003. « Manual on Uniform Traffic Control Devices ». Washington D.C.
- Flannery A.R. et Elefteriadou, L. 1997. « A Review of Roundabout Safety Performance in the United States ». ITE Annual Meeting 1997, Boston, MA.
- Flannery A.R. et Datta, T.K. 1996a. « Operational Analysis and Performance of American Roundabouts ». ITE Annual Meeting 1996, Minneapolis, MN.
- Flannery A.R., Datta, T.K. 1996b. « Modern Roundabouts and Traffic Crash Experience in United States ». Transportation Research Record, 1553, pp. 103-109.
- Forfylow R.W. et Reyes M. 2010. « A Comparative Study of Three Warm Mix Asphalt Technologies in the City of Calgary ». In Canadian Technical Asphalt Association. Edmonton, Alberta. Novembre 2010. Sous la direction de Stephen Goodman, pp. 469-493.
- Gandhi T. et Amir Khanian S.N. 2007. « Laboratory Simulation of Warm Mix Asphalt (WMA) Binder Aging Characteristics ». In Airfield and Highway Pavements. pp. 195-204.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41005%28329%2917>
- Gandhi T., Akisetty C. et Amir Khanian S.N. 2010. « A comparison of warm asphalt binder aging with laboratory aging procedures ». Journal of Testing and Evaluation, vol. 38, no 1.
- Gandhi T., Rogers W. et Amir Khanian S.N. 2010. « Laboratory evaluation of warm mix asphalt ageing characteristics ». International Journal of Pavement Engineering, vol. 11, no 2, pp. 133-142.
- Gardner P.E. 2002. « Long-Term Evaluation of the Gorham Roundabout ». 30^e Conférence annuelle de la SCGC, Montréal, 5-8 juin 2002.
- Genois A. 1999. « La définition d'une typologie des entrées d'agglomérations du Québec : une étude de cas ». Montréal : Chaire en paysage et environnement, Université de Montréal (travail de fin d'études de maîtrise en urbanisme).
- Goh S.W., Liu Y. et You Z. 2009. « Laboratory evaluation of Warm Mix Asphalt using Sasobit ». In 8th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, BCR2A'09, June 29, 2009 - July 2, 2009. Champaign, IL, United States. Vol. 1, pp. 315-320. Coll. Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields - Proceedings of the 8th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : CRC Press.
- Goh S.W. et You Z. 2011a. « Evaluation of Warm Mix Asphalt produced at various temperatures through dynamic modulus testing and four point beam fatigue testing ». In 2011 GeoHunan International Conference - Pavements and Materials: Recent Advances in Design, Testing, and Construction, June 9, 2011 - June 11, 2011. Hunan, China. 212 GSP, p. 123-130. Coll. Geotechnical Special Publication: American Society of Civil Engineers (ASCE).
[http://dx.doi.org/10.1061/47623\(402\)15](http://dx.doi.org/10.1061/47623(402)15)

- Goh S.W. et You Z. 2011b. « Moisture damage and fatigue cracking of foamed warm mix asphalt using a simple laboratory setup ». In 1st Congress of the Transportation and Development Institute of ASCE, March 13, 2011 - March 16, 2011. Chicago, IL, United States. pp. 762-771. Coll. T and DI Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow - Proceedings of the 1st Congress of the Transportation and Development Institute of ASCE: American Society of Civil Engineers (ASCE).
[http://dx.doi.org/10.1061/41167\(398\)73](http://dx.doi.org/10.1061/41167(398)73)
- Goh S.W. et You Z. 2012. « Mechanical Properties of Porous Asphalt Pavement Materials with Warm Mix Asphalt and RAP ». *Journal of Transportation Engineering*, vol. 138, no 1, pp. 90-97.
- Guimond P. 2002. « Mieux connaître le carrefour giratoire et son histoire ». *Info-Normes*, 13(3), pp. 4-7.
- Guo L., Jia D., Han W. et Xu X. 2011. « Performance of Low-Carbon Environmental Warm Mix Asphalt ». *ICTE 2011*. pp. 1849-1852.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41184%28419%29305>.
- Hagring O. 2002. « Estimation of Parameters in Distribution of Headways in Roundabouts ». *Journal of Transportation Engineering*, 128(5), pp. 403-411.
- Hagring O. 2001. « Derivation of Capacity Equation for Roundabout Entry with Mixed Circulating and Existing Flows ». *Transportation Research Record*, 1776, pp. 91-99.
- Hakseo K., Lee S.-J. et Amirkhanian S.N. 2011. « Rheology of Warm Mix Asphalt Binders with aged binders ». *Construction and Building Materials*, vol. 25, no 1, pp. 183-189.
- Hakseo K., Lee S.-J. et Amirkhanian S.N. 2009. « Effects of Warm Mix Asphalt Additives on performance properties of polymer modified Asphalt Binders ». *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 37, no 1, pp. 17-24.
- Hamzah M.O., Jamshidi A. et Shahadan Z. 2010. « Evaluation of the potential of Sasobit to reduce required heat energy and CO₂ emission in the asphalt industry ». *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, no 18, pp. 1859-1865.
- Hamzah M.O., Jamshidi A., Shahadan Z., Hasan M.R.M. et Yahaya A.S. 2010. « Evaluation of engineering properties and economic advantages of WMA using local materials ». *Journal of Applied Sciences*, vol. 10, no 20, pp. 2433-2439.
- Henry M.J. et Reynolds D.T. 1999. « Roundabouts : The Round Solution Does not always Fit the Square Problem ». *ITE Annual Meeting 1999*, Las Vegas, NV.
- Hoang L.T. et Courage K.G. 1997. « Design and Evaluation of Modern Roundabouts in Florida ». *ITE Annual Meeting 1997*, Boston, MA.
- Hossain Z., Lewis S., Zaman M., Buddhala A. et O'Rear E. 2012. « Evaluation for Warm Mix Additive-Modified Asphalt Binders Using Spectroscopy Techniques ». *Journal of Materials in Civil Engineering*, p. 474.

- Hughes T., Davidson K. et Cormier A. 2009. « Performance of Warm Mix Technology in the Province of New Brunswick ». Canadian Technical Asphalt Association. Moncton, New Brunswick, 15-18 novembre 2009. Sous la direction de Stephen Goodman, pp. 160-183.
- Hurley G.C. et Prowell B.D. 2005a. « Evaluation of Aspha-Min® Zeolite for Use in Warm Mix Asphalt ». 35 p.
<http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep05-04.pdf>
- Hurley G.C. et Prowell B.D. 2005b. « Evaluation of Sasobit® for Use in Warm Mix Asphalt ». 32 p.
<http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep05-06.pdf>
- Hurley G.C. et Prowell B.D. 2006. « Evaluation of Evotherm® for use in Warm Mix Asphalt ». 49 p.
<http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep06-02.pdf>
- Hyden C. et Varhelyi A. 2000. « The effects on Safety, Time Consumption and Environment of Large Scale Use of Roundabouts in an Urban Area : A Case Study. Accident Analysis and Prevention ». 32(1), pp. 11-23.
- Jacquemart G. 1996. « Is the Roundabout Coming to the United States? ». Journal of Transportation Engineering, 122(6), pp. 411-413.
- Jie J., Meiling L., Jin R. et Shifa X. 2010. « Research on the Performances of Warm Asphalt and Warm Mix Asphalt with Sasobit ». In ICCTP 2010. American Society of Civil Engineers. pp. 3725-3737.
[http://dx.doi.org/10.1061/41127\(382\)402](http://dx.doi.org/10.1061/41127(382)402)
- Kim Y.-R., Zhang J. et Ban H. 2012. « Moisture damage characterization of Warm-Mix Asphalt Mixtures based on laboratory-field evaluation ». Construction and Building Materials, vol. 31, pp. 204-211.
- KLD Associates Inc. and Polytechnic University, HCM/Cinema 3.0 – User Guide, New-York, 1990.
- Kristjansdottir O. 2006. « Warm Mix Asphalt for cold weather paving ». University of Washington.
- Kristjansdottir O., Muench S.T., Michael L. et Burke G. 2007. « Assessing potential for Warm-Mix Asphalt technology adoption ». Transportation Research Record, no 2040, pp. 91-99.
- Krogscheepers J.C. et Roebuck C.S. 1999. « Simulation of Traffic at Roundabouts ». Institute of Transportation Engineers Journal, 69(7), p. 17.
- Kunz J. et Saintillan C. 2012. « The next generation of roads in France and Germany ». Routes/Roads, no 355, pp 27-35.

- Kwon S.-A., Lee J.-J., Lim J.-K., Cho D.-W. et Yang S.-L. 2011. « Preliminary Study from Korea: Warm-Mix Asphalt ». In *Emerging Technologies for Material, Design, Rehabilitation, and Inspection of Roadway Pavements*. pp. 17-25.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/47629%28408%293>
- Lacasse P. 2009. « La route nue ». *Urbanité*, Hiver 2009, pp. 39-42.
- Lachance G. 2002. « Un carrefour giratoire en milieu urbanisé ». Colloque Les carrefours giratoires, AQTr et Association des ingénieurs municipaux du Québec, Montréal, 7 octobre 2002.
- Lavorato S., Manolis S., Pahalan A. et Reid R. 2011. « Asphalt Mix Performance Testing and Emissions Evaluation for Warm Mix Asphalt Field Project on Ministry of Transportation Ontario Highway 10 ». Canadian Technical Asphalt Association. Québec, Québec, novembre 2011. Sous la direction de Stephen Goodman, pp. 123-149.
- Leroux C. et Ruiz O. 2012. « Couche de roulement en enrobés tièdes avec recyclés (3E+R) - Premier bilan à trois ans. ». *Revue générale des routes et de l'aménagement*, no 902, pp. 35-39.
- Luttrell G., Russell E.R. et Rys M. 2000. « A Comparison of a Roundabout to Two-way Stop Controlled Intersections and High Traffic Volumes ». ITE Annual Meeting 2000, Nashville, TN.
- Marret J.-L. et al. 2007. « Les carrefours giratoires au Québec : Présentation du bilan de la situation » Comité consultatif technique en signalisation routière (CTSR). Montréal, 25 octobre 2007.
- Marret J.-L. et al. 2005. « Les carrefours giratoires au Québec : Inventaire sommaire ». Document de la Direction des études et des stratégies en sécurité routière. Montréal, Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ). 110 p.
- Merusi F. et Giuliani F. 2011. « Rheological characterization of wax-modified asphalt binders at high service temperatures ». *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 44, no 10, pp. 1809-1820.
- Middleton B. et Forfylyow R.W. 2009. « Evaluation of Warm-Mix Asphalt produced with the Double Barrel Green process ». *Transportation Research Record*, no 2126, pp. 19-26.
- Mogawer W., Austerman A. et Bahia H. 2011. « Evaluating the effect of Warm-Mix Asphalt technologies on moisture characteristics of asphalt binders and mixtures ». *Transportation Research Record*, no 2209, pp. 52-60.
- Mohammad L., Saadeh S. et Cooper S. 2008. « Evaluation of asphalt mixtures containing Sasobit® warm mix additive ». In *GeoCongress 2008: Geosustainability and Geohazard Mitigation*, March 9, 2008 - March 12, 2008. New Orleans, LA, United States, 178, pp. 1016-1023. Coll. Geotechnical Special Publication : American Society of Civil Engineers.
[http://dx.doi.org/10.1061/40971\(310\)127](http://dx.doi.org/10.1061/40971(310)127)

- Morea F., Marcozzi R. et Castano G. 2012. « Rheological properties of asphalt binders with chemical tensoactive additives used in Warm Mix Asphalts (WMAs) ». *Construction and Building Materials*, vol. 29, pp. 135-141.
- Myers E.J. 1994. « Modern Roundabouts for Maryland ». *Institute of Transportation Engineers Journal*, 65(10), pp. 18-22.
- National Road Transport Commission. 1999. « Australian Road Rules ». Australian Transport Council. Canberra, Australie.
- Nazzal M., Abbas A.R., Roy A. et Ali A.W. 2012. « Investigation of Foamed Warm Mix Asphalt Performance Using the MEPDG ». In *GeoCongress 2012*. pp. 1602-1611.
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784412121.165>
- Nebraska Department of Roads. 2005. « States of Nebraska Supplement to the Manual on Uniform Traffic Control Devices ». Nebraska. 31 p.
- Niederhauser M.E., Collins B.A., Myers E.J. 1997. « The Use of Roundabouts : Comparison of Alternate Design Solutions ». ITE Annual Meeting 1997, Boston, MA.
- Novellas F. 2002. « Les giratoires en France. 25 ans d'expérience ? Et si tout était à recommencer... ». Colloque Les carrefours giratoires, AQTr et Association des ingénieurs municipaux du Québec, Montréal, 7 octobre 2002.
- Oh H. et Sisiopiku V.P. 2001. « Probabilistic Models for Pedestrians Capacity and Delay at Roundabouts ». 4th International Symposium on Highway Capacity, Maui, HI.
- Ourston L. et Hall G.A. 1996. « Modern Roundabout Interchanges Come to America ». ITE Annual Meeting 1996, Minneapolis, MN.
- Ourston L. et Bared J.G. 1995. « Roundabouts : A Direct Way to Safer Highways ». *Public Roads*, 59(2), pp. 41-49.
- Ourston L. et Hall G.A. 1997. « Roundabouts Increase Interchange Capacity ». *Institute of Transportation Engineers Journal*, 67(12), pp. 30-35.
- Paquin Y. 2009. « Évolution et technologies des enrobés tièdes ». Formation technique Bitume Québec, 24 novembre 2009. ÉTS, Montréal, Québec.
- Paradis M. 2012. « Bilan de l'utilisation des techniques d'enrobés tièdes au MTQ ». 8^e congrès annuel de Bitume Québec. Québec, Québec, 22 mars 2012, p. 29.
- Paradis M., Boutin L. et Doucet F. 2011. « Le développement durable des enrobés au Québec ». Canadian Technical Asphalt Association. Québec, Québec, novembre 2011. Sous la direction de Stephen Goodman, pp. 351-368.
- Polus A. et Shmueli S. 1996. « Analysis and Evaluation of the Capacity of Roundabouts ». *Transportation Research Record*, 1572, pp. 99-104.

- Prowell B.D., Hurley G.C. et Crews E. 2007. « Field performance of Warm-Mix Asphalt at national center for Asphalt Technology Test Track ». Transportation Research Record, no 1998, pp. 96-102.
- Punith V.S., Xiao F. et Amirhanian S.N. 2011. « Effects of moist aggregates on the performance of Warm Mix Asphalt mixtures containing non-foaming additives ». Journal of Testing and Evaluation, vol. 39, no 5.
- Qin Y.-C., Wang S.-Y., Wei Z., Shi X.-P., Jian X. et Huang S.-C. 2012. « The effect of asphalt binder aging on fatigue performance of Evotherm WMA ». In 2nd International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology, AEMT 2012, July 6, 2012 - July 8, 2012. Zhuhai, China. Vol. 535-537, pp. 1686-1692. Coll. Advanced Materials Research: Trans Tech Publications.
<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.1686>.
- Rahman M.A. 1995. « Design Criteria for Roundabouts ». ITE Annual Meeting 1995, Denver, CO.
- Rahman M.A., Hicks T. 1994. « A Critical Look at Roundabout ». ITE Annual Meeting 1994, Dallas, TX.
- Rashwan M.H. 2012. « Characterization of Warm Mix Asphalt (WMA) performance in different asphalt applications ». Iowa State University.
- Redington T. 1995. « The Modern Roundabout Arrives in Vermont ». Transportation Quarterly, 35(3), pp. 11-12.
- Roberts F.L., Kandhal P.S., Brown E.R., Lee D.Y. et Kennedy T.W. 1996. « Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction ». Second Edition. 603 p.
- Robinson B.W. et Rodegerdts L.A. 2001. « Capacity and Performance of Roundabouts : A Summary of Recommendations in the FHWA Roundabout Guide ». 4th International Symposium on Highway Capacity, Maui, HI.
- Robinson B.W. et al. 2000. « Roundabouts: an informational guide, 1^{ière} éd, Washington, D.C.: United States Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA), 284 p.
- Robinson B.W. et Bared, J.G. 2000. « Roundabout and Access Management ». 4th National Access Management Conference, Portland, OR.
- Rodegerdts L.A. et al. 2010. « Roundabouts: an informational guide ». 2^e éd, Washington, D.C.: Transportation Research Board (TRB).
- Rozental J. 2005. « ICBC - Road improvement program : Modern roundabout in British Columbia ». <http://www.tac-atc.ca/english/pdf/conf2005/wse/round-rozental.pdf>.
- Rubio M.C., Martinez G., Baena L. et Moreno F. 2012. « Warm Mix Asphalt: An overview ». Journal of Cleaner Production, vol. 24, pp. 76-84.

- Sanchez-Alonso E., Vega-Zamanillo A., Castro-Fresno D. et DelRio-Prat M. 2011. « Evaluation of compactability and mechanical properties of bituminous mixes with Warm Additives ». *Construction & Building Materials*, vol. 25, no 5, pp. 2304-11.
- Sargand S., Nazzal M., Al-Rawashdeh A. et Powers D. 2012. « Field Evaluation of Warm-Mix Asphalt Technologies ». *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 24, no 11, pp. 1343-1349.
- Schlabbach K. 1997. « Traffic calming in Europe ». *ITE Journal* , Vol. 67, July 1997, pp. 38-40.
- Shang L., Wang S., Zhang Y. et Zhang Y. 2011. « Pyrolyzed Wax from recycled cross-linked polyethylene as Warm Mix Asphalt (WMA) additive for SBS modified asphalt ». *Construction and Building Materials*, vol. 25, no 2, pp. 886-891.
- Shifa X., Liting X., Jonathan J. et Yongqing X. 2009. « The application of emulsion Warm Mix Asphalt in long tunnel pavement ». In *2009 GeoHunan International Conference - Material, Design, Construction, Maintenance, and Testing of Pavement*, August 3, 2009 - August 6, 2009. Changsha, Hunan, China, 193, pp. 37-42. Coll. *Geotechnical Special Publication : American Society of Civil Engineers*.
[http://dx.doi.org/10.1061/issno\(352\)6](http://dx.doi.org/10.1061/issno(352)6).
- Silva H.M.R.D., Oliveira J.R.M., Peralta J. et Zoorob S.E. 2010. « Optimization of Warm Mix Asphalts using different blends of binders and synthetic paraffin wax contents ». *Construction & Building Materials*, vol. 24, no 9, pp. 1621-1631.
- Silva H.M.R.D., Oliveira J.R.M., Ferreira C.I.G. et Pereira P.A.A. 2010. « Assessment of the performance of Warm Mix Asphalts in Road Pavements ». *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 3, no 3, pp. 119-127.
- Singer L.I. et Hicks T. 2000. « An Engineer's Dilemma : Accomodating the Needs of People with Disabilities at Modern Urban Roundabouts ». *ITE Annual Meeting 2000*, Nashville, TN.
- Sisiopiku V.P., Oh H. 2001. « Evaluation of Roundabout Performance Using SIDRA ». *Journal of Transportation Engineering*, 127(2), pp.143-150.
- St-Jacques M. 1998. « Étude de circulation et d'aménagement - Projet Laval ». Rapport présenté par SNC-Lavalin à Ivanhoé Inc., Laval, Canada, 25 p.
- St-Jacques M. 1994c. « Étude d'aménagement routier ». Rapport présenté par SNC-Lavalin à la Ville de Rimouski, Rimouski, Canada, 26 p.
- St-Jacques M. 1989b. « Le recyclage des revêtements routiers ». Département de Sciences Économiques, Université de Montréal, Montréal, Canada, avril 1989.
- St-Jacques M. et Laurin S. 1999. « Le cauchemar des stationnements étagés ». *Congrès AQTr/CITE 1999*, Montréal, Québec, 3-5 mai 1999.

- St-Jacques M., Lévesque H., Laferrière D. 2004a. « Détermination d'un coût d'accident en fonction d'une typologie d'accident et impact sur la sécurité routière : Vérification de l'applicabilité de la méthodologie améliorée aux autoroutes ». Rapport d'étape 4. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure au Service des politiques de sécurité du ministère des Transports du Québec, juin 2004, 28 p.
- St-Jacques M., Lévesque H., Laferrière D. 2004b. « Détermination d'un coût d'accident en fonction d'une typologie d'accident et impact sur la sécurité routière : Application à des cas pratiques ». Rapport d'étape 3. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure au Service des politiques de sécurité du ministère des Transports du Québec, juin 2004, 156 p.
- St-Jacques M. et Lévesque H. 2003a. « Détermination d'un coût d'accident en fonction d'une typologie d'accident et impact sur la sécurité routière: Résumé et critique commentés des études de cas obtenues auprès des administrations routières consultées ». Rapport d'étape 2. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure au Service des politiques de sécurité du ministère des Transports du Québec, septembre 2003. 36 p.
- St-Jacques M. et Lévesque H. 2003b. « Détermination d'un coût d'accident en fonction d'une typologie d'accident et impact sur la sécurité routière: Résumé et critique de la documentation pertinente ». Rapport d'étape 1. Projet de recherche présenté par l'École de technologie supérieure au Service des politiques de sécurité du ministère des Transports du Québec, juin 2003. 79 p.
- St-Jacques M. et Nadeau R. 1997a. « Étude de circulation - Secteur Gare Jean-Talon ». Rapport présenté par SNC-Lavalin à l'Association des commerçants, promoteurs et gens d'affaires de parc Extension, Montréal, Canada, 30 p.
- St-Jacques M. et Nadeau R. 1997b. « Impacts sur la circulation - Secteur de la Gare Jean-Talon ». Commission de développement urbain de Montréal sur le projet de développement et de mise en valeur du site de l'ancienne gare Jean-Talon. Montréal, Canada, novembre 1997.
- St-Jacques M. et Tremblay S. 2000. « Comparaison entre les logiciels HCM/Cinema et SIDRA pour le calcul de capacité aux intersections ». Congrès AQTr 2000, Québec, 3-4 avril 2000.
- Stone J.R., Chae, K., Phillalamarri, S. 2002. « The Effects of Roundabouts on Pedestrian Safety ». Knoxville, TN : The Southeastern Transportation Center.
- Tacq K. 2000. « Détermination de la géométrie des giratoires : Conception et proposition de normalisation ». Routes/Roads, 306, pp. 31-43.
- Tan J.-A. 2001. « Comparaison of Capacity between Roundabout Design and Signalised Junction Design ». 1st Swiss Transport Research Conference, Monte Verità / Ascona, Suisse.

- Tatari O., Nazzal M. et Kucukvar M. 2012. « Comparative sustainability assessment of Warm-Mix Asphalts: A thermodynamic based hybrid life cycle analysis ». *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 58, pp. 18-24.
- Texas Transportation Institute. 2004. « Seeing the road safely and efficiently ». *Texas Transportation Researcher*. 24 p.
- Transports Québec. 2018a. « Granulats ». *Normes Ouvrages routiers*, tome VII, chap. 2. 12 p.
- Transports Québec. 2018b. « Liants et enrobés bitumineux ». *Normes Ouvrages routiers*, tome VII, chap. 4. 55 p.
- Transports Québec. 2018c. « Fabrication d'éprouvettes au compacteur LCPC ». *Méthode d'essai LC 26-400*. 15 décembre 2015. 15 p.
- Transports Québec. 2018d. « Détermination de la densité brute et de la masse volumique des enrobés à chaud compactés ». *Méthode d'essai LC 26-040*. 15 décembre 2015. 9 p.
- Transports Québec. 2018e. « Détermination du module complexe des enrobés ». *Méthode d'essai LC 26-700*. 15 décembre 2005. 14 p.
- Transports Québec. 2018f. « Détermination du pourcentage de vides et de la compacité dans les enrobés à chaud compactés ». *Méthode d'essai LC 26-320*. 15 décembre 2015. 3 p.
- Transports Québec. 2011. « Résistance à la déformation des enrobés à l'essai d'orniérage ». *Méthode d'essai LC 26-410*. 15 décembre 2011. 10 p.
- Turner F. et Planche J.P. 2012. « Avancées dans la caractérisation des liants bitumineux : vers une meilleure conception des liants ». *Routes*, no 355, pp. 46-55.
- U.S. Department of Transportation. 2000. « Roundabouts : An Informational Guide ». FHWA-RD-00-067. McLean, VA : Federal Highway Administration.
- Vaitkus A., Cygas D., Laurinavicius A. et Perveneckas Z. 2009. « Analysis and evaluation of possibilities for the use of Warm Mix Asphalt in Lithuania ». *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, vol. 4, no 2.
- Varhelyi A. 2002. « The Effects of Small Roundabouts on Emissions and Fuel Consumption : A Case of Study ». *Transportation Research Part D*, 7(1), pp. 65-71.
- Virginia Department of Transportation. 2005. « States of Virginia - Supplement to the Manual on Uniform Traffic Control Devices ». Richmond. 212 p.
- Wallwork M. 1997. « Roundabouts : What they are and why they work ». *Planning Commissioners Journal*, 26, pp. 15-17.
- Wallwork M. et Newberry S. 2002. « Modern Roundabouts ». 30^e Conférence annuelle de la SCGC, Montréal, 5-8 juin 2002.

- Wang R. et Ruskin, H. J. 2002. « Modeling Traffic Flow at a Single-Lane Urban Roundabout ». *Computer Physics Communications*, 147, pp. 570-576.
- Wasiuddin N.M., Selvamohan S., Zaman M.M. et Guegan M.L.T.A.. 2007. « Comparative Laboratory Study of Sasobit and Aspha-Min Additives in Warm-Mix Asphalt ». *Transportation Research Record*, no 1998, pp. 82-88.
- Wu Y., Guo Y. et Zhang X. 2011. « Performance evaluation of recycled asphalt mixture using Warm Mix Asphalt technology ». In *2011 GeoHunan International Conference - Emerging Technologies for Material, Design, Rehabilitation, and Inspection of Roadway Pavements*, June 9, 2011 - June 11, 2011. (Hunan, China), 218 GSP, p. 26-34. Coll. *Geotechnical Special Publication: American Society of Civil Engineers (ASCE)*. [http://dx.doi.org/10.1061/47629\(408\)4](http://dx.doi.org/10.1061/47629(408)4)
- Xiao F., Amirghanian S.N. et Zhang R.. 2010. « Rheological Properties and Moisture Susceptibility of WMA Mixture Containing Moist Aggregate ». *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition*, vol. 25, no 4, pp. 663-668.
- Xiao F., Amirghanian S.N. et Putman B.J. 2010. « Evaluation of rutting resistance in Warm-Mix Asphalts containing moist aggregate ». *Transportation Research Record*, no 2180, pp. 75-84.
- Yagar S. 1992. « Use of Roundabouts ». *Institute of Transportation Engineers Journal*, 62(2), pp. 42-45.
- Yanhai Y., Huaizhi Z. et Yaodong W. 2009. « Laboratory evaluation of the Warm Mix Asphalt performance in liaoning ». *9th International Conference of Chinese Transportation Professionals, ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation System Planning, Development, and Management*, August 5, 2009 - August 9, 2009. (Harbin, China) Vol. 358, p. 433-439. Coll. « *Proceedings of the 9th International Conference of Chinese Transportation Professionals, ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation System Planning, Development, and Management* »: American Society of Civil Engineers. [http://dx.doi.org/10.1061/41064\(358\)61](http://dx.doi.org/10.1061/41064(358)61)
- You Z. et Goh S.W. 2011. « Resilient Modulus and Dynamic Modulus of Warm Mix Asphalt ». *GeoCongress 2008*. pp. 1000-1007. <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40971%28310%29125>
- Younes B. 2000. « Roundabouts vs Intersections : The Tale of three UAE Cities ». *ITE Annual Meeting 2000*, Nashville, TN.
- Zaumanis M. et Haritonovs V. 2010. « Research on Properties of Warm Mix Asphalt ». *Scientific Journal of Riga Technical University*, vol. 11.
- Zaumanis M., Olesen E. et Haritonovs V. 2011. « Laboratory testing of organic and chemical Warm Mix Asphalt technologies ». *2nd International Warm-Mix Conference*. St. Louis, Missouri.

- Zaumanis M., Jansen J., Haritonovs V. et Smirnovs J. 2012. « Development of Calculation Tool for Assessing the Energy Demand of Warm Mix Asphalt ». *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 48, pp. 163-172.
- Zemka S. 2002. « Carrefour giratoire dans une zone industrielle ». *Revue Routes et Transports*, 31(2), pp. 41-46.
- Zhao S., Huang B., Shu X., Jia X. et Woods M. 2012. « Laboratory Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt Containing High Percentages of RAP ». 24 p.
<http://docs.trb.org/prp/12-4542.pdf>
- Zhong H., Liang H., Liu J. et Zhang R. 2012. « Warm-Mix Asphalt pavement performance and energy-saving analysis based on crushing bass ». In *2nd International Conference on Chemical Engineering and Advanced Materials, CEAM 2012, July 13, 2012 - July 15, 2012. (Guangzhou, China) Vol. 557-559, pp. 893-899. Coll. Advanced Materials Research : Trans Tech Publications.*
<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.557-559.893>
- Züger P., Porchet A. et Burch D. 2001. « Roundabouts : Fuel Consumption, Emissions of Polluants, Crossing times ». *1st Swiss Transport Research Conference, Monte Verità / Ascona, Suisse.*