

Évaluation de la congestion
« De la théorie à la pratique »
Réseau routier de l'agglomération de Montréal

préparé par

Michel Robitaille, ingénieur, M.Ing.
Président, Consultants MIRO inc.

et

Tam Nguyen, ingénieur, M.Ing.
Ministère des Transports du Québec, Direction de Laval – Mille-Îles

Exposé préparé pour
la séance sur la
technique et la gestion de la circulation

du congrès annuel de 2003 de
l'Association des transports du Canada
à St. John's (Terre-Neuve et Labrador)

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
RÉSUMÉ.....	1
1. ÉVALUATION DE LA CONGESTION.....	2
1.1 Contexte.....	2
1.2 Notion de congestion.....	2
1.3 Mesures et indicateurs de congestion.....	3
1.3.1 Références techniques.....	3
1.3.2 Indicateurs explorés.....	6
1.3.2.1 Indicateur synthétique TRI (Travel Rate Index).....	6
1.3.2.2 Indicateur descriptif.....	7
1.3.2.3 Indicateurs de files d'attente.....	8
2. MÉTHODE DE RELEVÉ DE FILES D'ATTENTE ET DE TEMPS DE PARCOURS (CAS RÉSEAU ROUTIER DE L'AGGLOMÉRATION DE MONTRÉAL).....	9
2.1 Présentation générale.....	9
2.1.1 Présentation du projet.....	9
2.1.2 Objectifs du projet.....	9
2.1.3 Complexité du projet.....	11
2.1.4 Techniques utilisées.....	11
2.1.5 Innovation et originalité.....	11
2.1.6 Impacts sociaux, économiques et environnementaux.....	11
2.2 Techniques de relevés utilisées.....	12
2.2.1 Technique odomètre (semi-automatique).....	12
2.2.2 Technique GPS (automatique).....	12
2.2.3 Précision des résultats.....	12
2.3 Cueillette des données.....	14
2.3.1 Données de base.....	14
2.3.2 Calibration.....	14
2.3.3 Fonctionnement du logiciel de cueillette de données.....	14
2.4 Traitement des données et présentation des résultats.....	18
2.4.1 Traitement.....	18
2.4.2 Présentation des résultats.....	18
2.5 Utilisation des résultats.....	20
2.6 Bilan et conclusion.....	21
2.6.1 Bilan.....	21
2.6.2 Conclusion.....	21
RÉFÉRENCES.....	23

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1	Territoire d'étude	10
Figure 2	Schéma des composantes (technique odomètre semi-automatique)	13
Figure 3	Schéma des composantes (technique GPS automatique).....	13
Figure 4	Fichier de configuration.....	15
Figure 5	Écran de saisie technique odomètre (semi-automatique)	16
Figure 6	Écran de saisie technique GPS (automatique).....	16
Figure 7	Traitement des données.....	19

LISTE DES ANNEXES

Annexe A	Exemples de tableaux et graphiques
Annexe B	Cartes thématiques

RÉSUMÉ

La première partie de l'exposé rappelle les notions de congestion, présente les mesures et indicateurs de congestion utilisés ailleurs, précise la méthode utilisée et les indicateurs qui ont été élaborés pour l'agglomération de Montréal.

La deuxième partie de l'exposé présente les méthodes informatisées de mesures de files d'attente qui ont été développées pour l'agglomération de Montréal. Ces systèmes ont été mis au point dans le cadre d'un programme de relevés continus de circulation du ministère des Transports du Québec (MTQ), visant à mesurer l'évolution des temps de parcours sur le réseau routier supérieur de l'agglomération de Montréal.

Deux méthodes informatisées de relevés ont été mises au point pour mesurer la position des véhicules. La première, appelée technique odomètre (semi-automatique), fait appel à l'odomètre des voitures alors que la seconde utilise un appareil GPS (Global Positioning System). Ces appareils permettent d'enregistrer la position exacte des véhicules à chaque seconde et de calculer la vitesse de marche, le temps de parcours et la position, la longueur, la durée des files d'attente et les taux de retard. Différentes applications informatiques ont été développées pour traiter l'information recueillie et produire les rapports synthèse offrant un **portrait très détaillé de l'évolution de la congestion sur le réseau routier de l'agglomération de Montréal**. Les résultats concernant les files d'attente, les temps et les vitesses de parcours, sont présentés sous forme de cartes, à l'aide du logiciel MapInfo.

CONCLUSION

Le MTQ se dit très satisfait du bon déroulement du projet et du taux élevé de validité des données recueillies. Les attentes originales du client ont été dépassées dans la mesure où la richesse des données recueillies a donné le jour à des applications autres que celles initialement envisagées au début du projet.

Compte tenu du faible échantillonnage disponible, il est actuellement impossible de tirer des conclusions pertinentes sur l'évolution de la congestion sur le réseau routier de l'agglomération de Montréal. C'est pourquoi la prochaine phase du projet consiste à procéder à la validation statistique de cet échantillonnage et définir lequel serait requis pour que les résultats soient représentatifs d'un point de vue statistique.

Quoique la technique utilisant le GPS offre plusieurs avantages lors de l'utilisation, elle requiert tout de même l'installation d'un système de relève pour pallier aux pertes de réception des signaux GPS lors de la traversée de certains éléments du réseau routier tels les tunnels, certains ponts ainsi qu'à certains endroits du centre-ville.

1. ÉVALUATION DE LA CONGESTION

1.1 Contexte

La congestion est un phénomène mondial, sans cesse grandissant, sur la majorité des routes et autoroutes des grandes villes et métropoles. Peu d'organisations responsables de la gestion de réseaux routiers ont mis en place les moyens adéquats pour mesurer et analyser le phénomène de façon méthodique.

La congestion est un facteur important pour l'économie, le transport des marchandises et pour l'ensemble des usagers des réseaux de transport. Ses impacts se traduisent par une augmentation du temps de déplacement, de la consommation de carburant, de la pollution, du stress, des risques d'accidents et d'incidents. De plus, la congestion réduit le bassin de main-d'œuvre et l'accessibilité à des activités économiques.

La combinaison de plusieurs facteurs tels le comportement des usagers, la température, la géométrie et l'aménagement rendent la congestion aléatoire et même chaotique. Les méthodes traditionnelles d'évaluation de l'état de la circulation par le rapport v/c ainsi que les méthodes empiriques ou de modélisation ne traduisent pas les conditions de congestion particulières à chacun des corridors.

Pour la région de Montréal, le besoin d'évaluer la congestion est relié à la réalisation des plans stratégiques du ministère des Transports du Québec. Il a en effet été décidé de faire recours à des indicateurs qui permettront d'apprécier la problématique de la congestion routière, d'en décrire l'évolution et, éventuellement, de la situer par rapport à d'autres villes nord-américaines.

La première partie de l'exposé présente un rappel des notions théoriques de la congestion ainsi que des mesures et des indicateurs pouvant être utilisés pour mesurer la congestion; tandis que la seconde partie présente la méthodologie de relevé informatisée de files d'attente et de temps de parcours ainsi que cette application.

1.2 Notion de congestion

Le « NCHRP Report 398¹ » définit la congestion selon deux seuils, soit la congestion et la congestion inacceptable :

- il y a congestion lorsque le temps de parcours excède celui encouru normalement dans des conditions légères de circulation ou en écoulement libre;
- la congestion devient inacceptable lorsque le temps de parcours (et le retard) dépasse une norme acceptée par la collectivité. Cette norme varie selon les éléments suivants :
 - le type d'infrastructure de transport;
 - le mode de transport;
 - le lieu géographique;
 - la période de la journée.

La congestion se mesure toujours par rapport à des seuils d'acceptabilité socioculturelle associés à une population donnée. Cette acceptabilité est variable selon la population (sinon l'individu et son humeur du moment) et selon l'heure de la journée et la période de l'année.

¹ NCHRP Report 398 – Quantifying Congestion, Volume 1, Final Report, Transportation Research Board, National Research Council, 1997

Vivre la congestion pendant 20 minutes en période de pointe du matin est totalement différent que de vivre 20 minutes de congestion causée par des travaux à une heure du matin.

Le rapport souligne également que le concept de définir un niveau inacceptable de congestion est important dans les applications basées sur la mesure du temps de parcours. Un niveau acceptable de vitesse ou de temps de parcours peut être utilisé pour identifier les endroits où le système de transport nécessite des améliorations. Ce niveau acceptable peut être différent au centre-ville et en banlieue et sera certainement différent entre une autoroute et une artère urbaine.

La congestion peut être récurrente (se produire au même endroit), au même moment chaque jour de semaine ou un jour de fin de semaine) ou non récurrente s'il s'agit de celle qui est occasionnée par des perturbations comme un accident ou des travaux.

Même si le concept de congestion est utilisé par les médias, le public, les politiciens et les professionnels en transport, il n'existe pas de définition largement acceptée de la congestion basée sur une mesure unique.

La définition de la congestion doit prendre en considération les aspects indissociables et essentiels suivants :

- la durée de la congestion (« Duration »), période de la journée pendant laquelle l'indicateur choisi indique qu'il y a congestion (pondération temps);
- l'ampleur de la congestion (« Extent »), le nombre de personnes ou de véhicules qui sont affectés par cette congestion (pondération quantité) et l'étendue géographique de celle-ci;
- l'intensité de la congestion (« Intensity ») permet d'établir les différents niveaux de congestion affectant les itinéraires (par exemple : sévère, modérée, absence de congestion). L'intensité peut également être qualifiée par la vitesse;
- le niveau de précision de la mesure de la congestion (« Reliability »), cet aspect important de l'estimation de la congestion est alimenté par la variation des trois premiers aspects. Il vise à identifier l'univers des combinaisons possibles des trois premiers aspects (par exemple à l'aide d'écart type) afin de mettre en lumière les situations récurrentes et aussi les situations aberrantes ou extrêmes.

1.3 Mesures et indicateurs de congestion

1.3.1 Références techniques

Il existe quelques références en matière de mesures et d'indicateurs de congestion. Il convient de faire la différence entre une mesure et un indicateur de la congestion. Une mesure de la congestion pourrait être un temps de parcours additionnel par km, alors qu'un indicateur de la congestion n'a pas d'unité. Il s'agit plutôt de rapports entre une situation de base et une situation observée.

Dans le rapport « *Urban Mobility Index 2001*² » du Texas Transportation Institute, on utilise une mesure de la congestion :

- le « Travel Delay », soit le temps de parcours additionnel créé par la congestion;

² Urban Mobility Index 2001, Texas Transportation Institute, mai 2001

et trois indicateurs de congestion :

- le « Roadway Congestion Index (RCI) » est basé sur la mesure de l'étendue de la période de pointe. C'est un rapport entre le débit total quotidien et l'offre du réseau routier (quant à la capacité d'écoulement).
- le « Travel Rate Index (TRI) » est un rapport entre le temps additionnel requis pour effectuer un déplacement en congestion et le temps requis dans une situation d'écoulement libre. Un rapport de 1,30 signifie que cela prend 30 % plus de temps pour effectuer un parcours par rapport à l'écoulement libre.
- le « Travel Time Index (TTI) » est semblable au TRI, sauf qu'il inclut également la congestion causée par les incidents, en plus de la congestion récurrente.

Le rapport 398 du NCHRP intitulé « *Quantifying congestion* », publié par le TRB en 1997, présente les mesures et indicateurs suivants :

- Taux de déplacement (min/km)
$$= \frac{\text{temps de déplacement (min)}}{\text{longueur du segment (km)}} = \frac{60 \text{ (min/h)}}{\text{vitesse moyenne (km/h)}}$$
- Taux de retard (min/km)
$$= \left\{ \begin{array}{c} \text{taux de déplacement réel} \\ \text{(min/km)} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{taux de déplacement} \\ \text{acceptable} \\ \text{(min/km)} \end{array} \right\}$$
- Retard total (véh - min)
$$= \left\{ \left[\begin{array}{c} \text{temps de déplacement} \\ \text{réel (min)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{temps de déplacement} \\ \text{acceptable (min)} \end{array} \right] \right\} \square \text{débit (véh)}$$
- Indice de mobilité sur un corridor
$$= \frac{\text{nb de personnes} \square \text{vitesse moyenne (km/h)}}{\text{valeur normalisée (ex. : 25 000 (artères) ou 125 000 (autoroutes)}}$$
- Taux relatif de retard
$$= \frac{\text{taux de retard (min/km)}}{\text{taux de déplacement acceptable (min/km)}}$$
- Ratio de retard
$$= \frac{\text{taux de retard (min/km)}}{\text{taux de déplacement (min/km)}}$$
- Itinéraire congestionné (véh - km)
$$= \sum \left\{ \begin{array}{c} \text{segments congestionnés (km)} \\ \text{(véh)} \end{array} \right\} \square \text{débit}$$
- Route congestionnée (km)
$$= \sum \left\{ \begin{array}{c} \text{segments congestionnés (km)} \end{array} \right\}$$
- Accessibilité
$$= \sum \left\{ \begin{array}{c} \text{déplacements possibles} \\ \text{temps de déplacement réel} \leq \text{temps de déplacement acceptable} \end{array} \right\}$$

Dans ce rapport, il est mentionné qu'il est difficile de développer une mesure de la congestion qui tienne compte de tous les aspects qui caractérisent la congestion. C'est la raison pour laquelle plusieurs mesures ont été développées.

Dans la plupart des méthodes intéressantes, la **mesure du temps de parcours et le retard** étaient des éléments clés dans la détermination de l'indice de congestion. Le temps de parcours permet de calculer la vitesse de parcours et le retard sur un parcours. Le débit journalier moyen annuel (DJMA) s'avère aussi une information importante pour quantifier la demande sur chacun des tronçons sur le réseau routier. À partir de ces informations, il est

relativement aisé de définir un ou plusieurs indices avec l'un ou avec une combinaison de ces paramètres (temps de parcours, vitesse, retard, DJMA ou leurs dérivés : véh-km, etc.).

Définir un seul indice permettant d'évaluer la congestion sous tous ses aspects peut s'avérer incomplet. En effet, cet indice doit être une mesure quantitative qui, d'une part, montre la fluidité de la circulation sur l'ensemble du réseau défini (i.e. temps moyen / km, retard / km, etc.) et suit son évolution dans le temps et dans l'espace et qui, d'autre part, tient compte de la demande (nombre de véhicules circulant sur chaque tronçon) et les distances parcourues par les véhicules (véhicules-km). L'indice à choisir doit être flexible pour être flexible pour permettre de tenir compte de l'évolution du réseau routier dans le temps. Il doit aussi pouvoir s'appliquer de façon globale (ensemble du réseau) et par tronçon de route, de façon très désagrégée, afin de permettre de mesurer localement et globalement les impacts résultant d'une intervention et ce, peu importe la méthode de collecte choisie.

1.3.2 Indicateurs explorés

Le Service de la modélisation des systèmes de transports (SMST) du Ministère³ a exploré l'utilisation de plusieurs indicateurs complémentaires pour mesurer le plus économiquement possible l'état de la congestion routière dans la région de Montréal : un indicateur synthétique, un indicateur descriptif et un indicateur de files d'attente. Ces indicateurs, destinés à être diffusés auprès du grand public, se doivent d'être simples et facilement interprétables par les lecteurs. Ils seront forcément très agrégés, tout en devant demeurer suffisamment sensibles à l'évolution des conditions de la circulation routière pour produire des résultats utiles.

Ces indicateurs doivent reposer sur une méthodologie rigoureuse et stable dans le temps et dans la couverture qu'ils assurent. Ils visent en quelque sorte à nous donner la « température » du réseau routier, à différents moments dans le temps.

1.3.2.1 Indicateur synthétique TRI (Travel Rate Index)

L'indicateur synthétique examiné est une mesure standardisée appelée TRI [*Travel Rate Index*], élaborée par le *Texas Transportation Institute*.

Le TRI est essentiellement un indicateur du temps supplémentaire de déplacement causé par la congestion routière. Il s'agit d'un ratio entre le temps mis pour se déplacer en pointe par rapport au temps qu'on mettrait à faire les mêmes déplacements en situation d'écoulement libre (free-flow)⁴. Ainsi, un TRI de 1,32 (cas de Boston) signifie qu'il faut en moyenne 32 % plus de temps pour se déplacer en période de pointe que si on pouvait être seul sur la route. La pire métropole américaine, avec un TRI de 1,51 (en 1997), est Los Angeles. À l'autre extrême, des agglomérations de très petite taille, comme celle de Rochester (NY), affichent un TRI de 1,06.

Le TRI fait partie d'une grande famille d'indicateurs reliés à l'analyse de la congestion sur les réseaux de transport. Il fait l'objet de rapports annuels qui analysent et comparent la mobilité urbaine à travers les métropoles américaines depuis plus de 14 ans.

³ Développement d'un indicateur synthétique de congestion pour la région de Montréal, SMST, MTQ, février 2001
Développement d'un indicateur descriptif de congestion pour la région de Montréal, SMST, MTQ, mars 2001

⁴ La vitesse à l'écoulement libre est la vitesse moyenne pratiquée sans congestion, en fonction de la classe fonctionnelle de la route, et peut être différente de la vitesse permise.

Le principal « input » à la méthodologie demeure l'inventaire du réseau (en kilométrage-voie) et les données de débit journalier moyen. Ces données sont déjà disponibles à travers le système HPMS (Highway Performance Monitoring System) utilisé depuis plusieurs années aux États-Unis, de même qu'au ministère des Transports du Québec.

La méthode a fait appel à plusieurs sous-modèles statistiques pour établir des facteurs ou des paramètres moyens, représentatifs de différentes conditions de circulation et de la proportion des déplacements réalisée aux heures de pointe.

Le TRI est un indicateur agrégé sur l'ensemble des segments du réseau analysé, selon la longueur et le nombre de véhicules respectifs que supporte chacun des segments.

Ainsi, un très long segment routier situé en périphérie et qui porterait un faible débit (ex : autoroute 640 à Lachenaie) peut devenir beaucoup moins important dans le résultat qu'un très court segment d'autoroute fortement sollicité au centre de l'agglomération (ex : autoroute Métropolitaine, entre l'autoroute des Laurentides et l'échangeur Décarie).

Le TRI ne tient évidemment pas compte de la dynamique fine de la circulation. Il est insensible aux conditions exceptionnelles qui seraient liées à des incidents climatiques, des accidents ou encore des interférences dues à des travaux de construction.

1.3.2.2 Indicateur descriptif

L'indicateur descriptif se propose de mesurer de manière exacte les conditions de la circulation à différents points de contrôle précis du réseau autoroutier, en calculant la proportion de temps et de véhicules (selon deux classes : automobiles et véhicules commerciaux) correspondant à différents **régimes de circulation**.

Cet indicateur est obtenu à l'aide des relevés de circulation tirés des stations de détection des véhicules (SDV). Ce sont les premiers types de relevés expérimentés par le Ministère.

Il s'agit des relevés tirés des boucles d'inductance localisées sur une partie du réseau autoroutier de l'île de Montréal. L'instrumentation est utilisée pour la détection des véhicules à l'aide de boucles dans la chaussée. Les données relevées par les doubles boucles sont la vitesse, la classification des véhicules selon leur longueur, le débit et le taux d'occupation. Les boucles simples relèvent uniquement le débit et le taux d'occupation. Compilé par période de scrutation de 20 secondes, le taux d'occupation représente le nombre de cycles pendant lesquels la boucle est occupée jusqu'à un maximum de 1 200 (60 cycles par seconde (Hz) pendant 20 secondes).

Ces stations de détection des véhicules sont actuellement utilisées à deux fins : établir l'état de la circulation et détecter les incidents sur le réseau.

Placées en moyenne aux 500 mètres, ces boucles indiquent le taux d'occupation en temps réel, à partir duquel est déduit le niveau de fluidité de chacune des sections où elles se trouvent. Un taux d'occupation faible (ex : moins de 14 %) indique une situation de circulation fluide, alors qu'un taux d'occupation élevé (ex : supérieur à 33 %) indique une circulation en congestion. L'état intermédiaire indique une circulation au ralenti (ex : TO entre 14 et 33 %). Une calibration des seuils et une validation des données sont néanmoins nécessaires avant de procéder.

La détection des incidents s'effectue lorsque le taux d'occupation dépasse un seuil critique. La localisation de la boucle qui a détecté cette alarme permet alors d'utiliser une caméra pour préciser la localisation de l'incident et possiblement sa nature.

À partir de ces données de base, soit le débit total, la vitesse moyenne, le taux d'occupation moyen, la classification des véhicules, on peut définir les régimes de circulation traduisant la congestion.

1.3.2.3 Indicateurs de files d'attente

Des indicateurs de files d'attente⁵ ont été élaborés par le Ministère à l'aide de relevés de localisation géographique de ces files, de temps de parcours et de vitesse. La description pratique de cette méthode est présentée à la section 2.

À partir de ces relevés, les mesures et indicateurs suivants ont été élaborés :

- **le retard** est la différence entre le temps mesuré en congestion sur le trajet et le temps mesuré en écoulement libre. Dans cette famille de mesures se trouvent le retard maximal en période de pointe, le retard moyen en période de pointe et le retard moyen de l'heure de pointe;
- **le taux relatif de retard** est calculé en divisant le retard moyen durant l'heure de pointe par le temps de parcours en écoulement libre. Cet indicateur est sans dimension. Il permet donc de comparer la congestion selon les corridors, d'établir un indicateur global par année, et de le comparer d'année en année;
- **la proportion de retard** est le rapport entre le retard moyen de l'heure de pointe et le temps de parcours moyen durant l'heure de pointe;
- **la longueur maximale des files d'attente** est la somme des longueurs de l'ensemble des files d'au moins une minute rencontrées sur un parcours donné, par le véhicule témoin. La valeur est calculée pour chaque période de pointe;
- **l'étalement de la pointe** est la proportion de la période de pointe durant laquelle le réseau est affecté par la congestion. La congestion est définie dans ce cas par la présence d'au moins une file d'attente de deux minutes et plus.

Compte tenu du faible échantillon (départs aux 20 minutes), les marges d'erreur sur certains de ces mesures et indicateurs pourraient être significatives. La prochaine étape consiste à procéder à la validation statistique de cet échantillonnage et à définir l'échantillonnage requis pour que les résultats soient représentatifs d'un point de vue statistique.

⁵ Évaluation de la congestion, document de travail, Direction de Laval – Mille-Îles, Service des inventaires et du plan, MTQ, septembre 2000

2. MÉTHODE DE RELEVÉ DE FILES D'ATTENTE ET DE TEMPS DE PARCOURS (CAS RÉSEAU ROUTIER DE L'AGGLOMÉRATION DE MONTRÉAL)

2.1 Présentation générale

2.1.1 Présentation du projet

La méthode de relevé consiste à faire rouler un véhicule flottant sur les principaux corridors congestionnés de la Région métropolitaine de recensement de Montréal (RMR). La position précise du véhicule est enregistrée à chaque seconde. Connaissant sa position et le temps écoulé en passant à certains repères (aux 500 mètres d'autoroute ou aux intersections), il est possible de calculer le temps de parcours et donc la vitesse. La localisation de la file d'attente est établie en fonction d'une vitesse d'entrée dans la file et d'une vitesse de sortie. Un véhicule est considéré entré dans une file d'attente sur une autoroute lorsque sa vitesse diminue en deçà de 25 km/h et est considéré sorti de la file lorsque sa vitesse dépasse 60 km/h. Connaissant la position du véhicule lorsqu'il atteint ces vitesses, il est possible de connaître la localisation précise du début et de la fin de chacune des files d'attente, ainsi que le temps en file d'attente.

Huit voitures témoins roulent sur un parcours prédéterminé pour chacun des corridors, et cela dans chacune des directions (2 trajets). Chaque trajet est effectué trois fois par heure pendant les périodes de pointe du matin (6 h à 9 h) et de l'après-midi (15 h 30 à 18 h 30), soit un total de 18 relevés sur une journée. Les relevés, par corridor, sont effectués une journée par mois pendant 12 mois consécutifs. Il s'agit donc de 216 relevés par trajet, et 47 trajets sont couverts. Annuellement, cela représente 10 152 relevés ($3 \text{ relevés/heure} * 3 \text{ heures/période} * 2 \text{ périodes/jour} * 12 \text{ jours/année} * 47 \text{ trajets}$).

Le réseau à l'étude couvre près de 60 % du réseau ministériel de la RMR (210 kilomètres) et 120 kilomètres de réseau urbain, dont 21 des 23 ponts majeurs de la région. Directionnellement, la couverture totale est donc de 660 kilomètres (figure 1).

Compte tenu de la couverture du réseau et de la fréquence de cueillette de l'information, ces relevés sont basés sur un recensement (relevé sur l'ensemble de l'univers d'observation – 100 % de la population) dans l'espace mais constituent un échantillon dans le temps. Avec une seule journée de relevé par mois pour chaque corridor, il demeure inapproprié, statistiquement, de considérer ce relevé comme représentatif du mois.

2.1.2 Objectifs du projet

- Mesurer de façon méthodique la congestion sur les corridors les plus achalandés de l'agglomération de Montréal;
- suivre l'évolution de la congestion durant les périodes de pointe sur une période de douze (12) mois consécutifs;
- automatiser la procédure de saisie de données;
- relever la position des véhicules à toutes les secondes et conserver ces données dans des fichiers informatiques;
- minimiser les interventions humaines;
- réduire le personnel de saisie de données;
- traiter (700 fichiers de données) et produire les résultats obtenus mensuellement.

Figure 1 Territoire d'étude

2.1.3 Complexité du projet

Il s'agit d'un projet complexe quant aux techniques utilisées pour la cueillette informatisée des données, au traitement de l'imposante quantité de données recueillies ainsi que la représentation des résultats à l'aide de logiciels connus tel que MapInfo.

2.1.4 Techniques utilisées

Ce projet repose sur la technique de la voiture flottante modifiée, qui consiste à faire rouler un véhicule témoin à une vitesse représentative de la vitesse moyenne du flot de circulation sur un circuit routier préétabli. Deux techniques de cueillette de données ont été développées dans le cadre de ce projet :

- **La technique odomètre (semi-automatique)** permet de recueillir automatiquement les données de temps et de position du véhicule à chaque seconde à partir de l'odomètre du véhicule. Les données sont enregistrées dans un *cueilleur de données*.
- **La technique GPS (automatique)** utilise le positionnement (longitude, latitude) par satellite pour recueillir et enregistrer de façon automatique la position du véhicule à chaque seconde. Les données sont également conservées dans un *cueilleur de données*.

2.1.5 Innovation et originalité

Ce projet constitue une première mondiale à plusieurs niveaux. Il s'agit du premier programme systématique d'évaluation de la congestion à l'échelle d'une agglomération. Jamais auparavant l'évolution horaire et annuelle des temps de parcours sur un réseau routier urbain n'avait été mesurée systématiquement, bien que la congestion soit depuis longtemps perçue comme un problème important pour les gestionnaires de réseau routier. Avant la mise en place de ce projet, seul des informations fragmentaires sur les temps de parcours existaient pour certains tronçons de route ou pour quelques heures de l'année. Avec ce projet, le ministère des Transports du Québec (MTQ) dispose maintenant d'un portrait clair, dans l'espace et dans le temps, de l'ensemble des conditions de circulation sur le réseau routier supérieur de l'agglomération de Montréal.

Le projet constitue également une première technologique au niveau canadien puisqu'il s'agit de la première application à grande échelle des techniques odomètre et du GPS adaptée aux relevés de la circulation. Ces nouvelles technologies permettent d'analyser de façon microscopique les conditions de circulation, ce qui était impossible auparavant.

Finalement, le projet innove également par l'interface mise au point entre les relevés informatisés et la représentation graphique sous forme de système d'information géographique

2.1.6 Impacts sociaux, économiques et environnementaux

Les impacts sociaux, économiques et environnementaux sont indirects et sont fonction des décisions prises à partir des données maintenant rendues disponibles. Le portrait détaillé de la congestion fourni par ce projet a été un des éléments utilisés lors de l'élaboration du *Plan de gestion des déplacements pour la région métropolitaine de Montréal*, récemment déposé par le MTQ.

Les données recueillies ont permis de prioriser les investissements en transport dans la région de Montréal en tenant compte des impacts sur le temps de parcours vécus par les usagers. L'utilisation optimale des ressources financières allouées au transport se traduira par des

bénéfices économiques importants, et de façon générale permet de minimiser les impacts environnementaux négatifs associés au transport.

2.2 Techniques de relevés utilisées

Deux techniques de cueillette de données informatisées ont été développées pour atteindre les objectifs du projet.

2.2.1 Technique odomètre (semi-automatique)

Cette technique utilise l'odomètre du véhicule pour déterminer la position du véhicule à toutes les secondes et un *cueilleur de données* emmagasine ces données de façon permanente. Le traitement des données qui caractérisent la congestion (vitesse, temps, files d'attente, retard) de chaque circuit est effectué en différé. Le releveur s'occupe de signaler notamment : le début/fin d'une course, le passage aux repères, la fin d'une file d'attente, les entraves à la circulation et les détours au moyen de différents interrupteurs.

Le schéma de la figure 2 présente la liste des composantes utilisées avec cette technique. On y retrouve notamment un lien avec le capteur « hall effect », l'unité de contrôle, un *cueilleur de données* et un bloc d'alimentation.

2.2.2 Technique GPS (automatique)

Cette technique utilise le système de positionnement (longitude, latitude) par satellite. Le récepteur DGPS reçoit le signal de la balise de la Garde côtière et le transmet au GPS pour correction. L'information sur la position (longitude, latitude) est ensuite transmise au *cueilleur de données* par le port série à toutes les secondes. Simultanément à ces informations, on enregistre également l'altitude, la direction, le nombre de satellites et la perte du DGPS. De plus, un système de relève est utilisé pour pallier aux pertes de signaux GPS. Le traitement des données des files d'attente est également effectué en différé.

Avec cette technique la tâche du releveur se limite à démarrer le *cueilleur de données* au départ et à l'interrompre à la fin de la période. Le *cueilleur de données* indique au releveur, au moyen de différents timbres sonores, le passage aux points de repère et le début des files d'attente pour saisie de commentaires s'il y a lieu.

Le schéma de la figure 3 présente la liste des composantes utilisées avec cette technique. On y retrouve notamment : le système de référence secondaire, un *cueilleur de données*, un bloc d'alimentation d'une autonomie d'une heure, un récepteur GPS avec port série RS232C, un récepteur radio DGPS de 296 et 309 KHz, une antenne magnétique DGPS.

2.2.3 Précision des résultats

Technique odomètre (semi-automatique)

La précision exigée par le MTQ avec cette technique est de ± 5 m. Le système que nous avons mis au point répond à cette exigence et fournit une précision supérieure, soit de l'ordre de 1 m.

Technique GPS (automatique)

Étant donné la nouveauté de cette technique, on devait s'assurer que les données recueillies rencontraient les exigences du MTQ et que les relevés des circuits correspondaient

Figure 2 Schéma des composantes (technique odomètre semi-automatique)

Figure 3 Schéma des composantes (technique GPS automatique)

précisément au tracé des routes à l'étude. Pour vérifier la précision du chaînage obtenu avec cette technique, on a comparé le chaînage recueilli par GPS avec celui obtenu une fois le fichier de coordonnées transformé en chaînage pour une même période de temps. Les variations obtenues une fois le fichier transformé présentent un écart inférieur à 0,1 %.

Pour confirmer la position des relevés GPS par rapport aux tracés des circuits à l'étude, le positionnement (longitude, latitude) des relevés à chaque seconde a été transformé en projection MTM à l'aide du logiciel Lambert. Cette projection fournit un fichier de coordonnées qui est importé dans MapInfo pour réaliser la trace du circuit. Une fois la trace réalisée, nous superposons ce tracé avec celui obtenu du MTQ et dont les coordonnées ont été établies à partir de relevés antérieurs. La similitude des résultats obtenus est remarquable : pour tous les relevés réalisés pour un même circuit, les points sont localisés sensiblement aux mêmes endroits et la trace des relevés GPS se situe à ± 25 m du tracé de la route et demeure à l'intérieur de son emprise. Cette variation peut dépendre de plusieurs facteurs dont la précision de la carte utilisée, etc.

2.3 Cueillette des données

2.3.1 Données de base

Pour utiliser le module de cueillette de données, certaines informations sont requises avant la saisie des données.

Un fichier de configuration est requis pour chaque circuit tel que présenté aux figures 4, 5 et 6. Il contient la définition des repères, leur positionnement soit en chaînage ou en longitude, latitude et le type de circuit. Les repères sont identifiés de façon séquentielle à partir de un. On retrouve trois types de circuit, soit : autoroutier, urbain et mixte (circuit autoroutier et urbain à la fois). Dans le cadre de ce projet, les chaînages pour la préparation des fichiers de configuration ont été fournis par le MTQ alors que le positionnement (longitude, latitude) a été relevé sur le terrain en utilisant le module de *Saisie des repères* du logiciel GPSMTQ.EXE.

De plus, un fichier contenant les paramètres du système, le facteur de calibration et les caractéristiques du véhicule est également requis. Tel qu'indiqué au tableau 2.1 les paramètres du système sont la vitesse de congestion en milieu urbain et autoroutier ainsi que les distances d'avertissement sonore.

2.3.2 Calibration

Ce module permet de déterminer les facteurs de transformation nécessaires pour convertir les lectures de l'odomètre en chaînage. Cette procédure est effectuée à chaque semaine et à chaque changement pouvant influencer la lecture de l'odomètre du véhicule (ex. : changement des pneus).

La calibration consiste à mesurer le long d'un kilomètre étalon le nombre d'impulsions générées par le capteur « Hall Effect ». Ce facteur est intégré au programme de saisie des courses par le module de calibration. La calibration est nécessaire pour les deux techniques.

2.3.3 Fonctionnement du logiciel de cueillette de données

Le logiciel de cueillette de données est simple d'utilisation et vise à permettre au releveur de se concentrer sur la conduite du véhicule.

Figure 4 Fichier de configuration

Figure 5 Écran de saisie technique odomètre (semi-automatique)

Figure 6 Écran de saisie technique GPS (automatique)

Un horaire mensuel indique aux releveurs les circuits à réaliser, les dates de relevés et les heures de départ. Des heures précises indiquent le départ des trajets dans le sens de la pointe alors que le retour s'effectue à des heures variables selon le temps pris pour effectuer la première moitié du circuit. Le releveur n'a pas d'heure précise pour démarrer sa course en sens inverse; il débute sa nouvelle course dès son arrivée au point de départ.

Le programme de saisie de course a été développé en QuickBasic, sous DOS.

Technique odomètre (semi-automatique)

Après avoir mis en fonction le *cueilleur de données*, le système vérifie la date et l'heure et demande à l'utilisateur de confirmer ces paramètres. Une fois cette validation effectuée le programme RUNMTQ.EXE est alors chargé en mémoire. Ce programme gère les différentes composantes du système. Un menu est rendu disponible (figure 5) et l'utilisateur saisit les conditions de pavage, le circuit à effectuer et la commande *Début saisie*. À ce moment, le système est activé et prêt à recueillir les données. Parallèlement à ces activités un fichier de saisie est créé automatiquement par le système. Le nom du fichier est composé du dernier caractère de l'année, suivi du jour julien, de l'heure et d'une extension indiquant le numéro du circuit effectué (ex. : 00011520_01).

Pour débiter la saisie de la course et l'enregistrement des données, l'utilisateur n'a qu'à presser le bouton *Début/fin de course* de l'unité de contrôle au passage du premier repère. Dès ce moment, le *cueilleur de données* commence à recevoir les informations au taux de 10 lectures par seconde. Ces informations sont validées, la distance parcourue et les codes de boutons pressés selon l'événement rencontré le long du parcours sont enregistrés sur le disque à chaque seconde. À l'approche d'un repère (à 100 m en milieu autoroutier et à 30 m en milieu urbain), un signal sonore est émis avant le passage au repère pour informer le releveur de la présence prochaine du repère.

Au passage du dernier repère, une tonalité différente est émise par le *cueilleur de données* et le releveur appuie sur le bouton *Début/fin de course* pour indiquer au *cueilleur de données* la fin du circuit. Le fichier de relevé est alors fermé automatiquement par le logiciel. Dès lors, le *cueilleur de données* charge automatiquement le circuit en sens inverse et crée un nouveau fichier de saisie pendant que l'utilisateur se dirige vers le point de départ pour effectuer le circuit de retour. Puis, au passage du point de départ du circuit de retour, le releveur appuie à nouveau sur le bouton *Début/fin de course* pour démarrer la course en sens inverse.

Une fois par semaine, le chef d'équipe récupère les fichiers de cueillette de données. Une copie de ces fichiers est placée sur disquette et une copie est conservée dans le répertoire *Archive* du *cueilleur de données*. La copie sur disquette est alors utilisée par le système de traitement des données.

Technique GPS (automatique)

Après avoir vérifié la date et l'heure, le programme GPSMTQ.EXE est chargé automatiquement en mémoire. Un écran semblable (figure 6) au précédent est alors disponible et permet de saisir les conditions de pavage et la commande *Début saisie*. Avec cette technique, le *cueilleur de données* charge automatiquement le circuit à effectuer en fonction du positionnement (longitude, latitude) contenu dans les fichiers de configuration qui se trouvent dans le répertoire GIRGPS, crée le fichier de saisie et est maintenant prêt à recueillir les données. Le nom du fichier est constitué comme précédemment à l'exception de l'extension à laquelle on ajoute la lettre « g » avant le numéro du circuit (ex. : 00011520.g01).

Comme précédemment, le releveur presse le bouton *Début/fin de course* de l'unité de contrôle pour démarrer la saisie des informations. Dès cet instant, le système écrit à chaque seconde sur le disque du *cueilleur de données* les informations telles que : la longitude, la latitude, l'altitude, la direction, le nombre de satellite, la perte de GPS ainsi que la distance parcourue qui provient du système de référence.

Contrairement à la technique odomètre (semi-automatique), le releveur n'a aucun interrupteur à gérer, car le système opère de façon automatique. Toutefois, un signal sonore est également émis par le *cueilleur de données* au passage aux repères, lorsqu'on entre en file d'attente et à la fin et au début des courses, ce qui permet de valider le bon fonctionnement du système. Une fois le dernier repère rencontré, le *cueilleur de données* termine la saisie, ferme le fichier automatiquement et se prépare pour effectuer la course en sens inverse (charge le fichier de retour, crée le fichier de saisie et attend que le releveur appuie sur le bouton *Début/fin de course* pour démarrer la saisie en sens inverse).

La procédure à la technique précédente est suivie pour la récupération des données.

2.4 Traitement des données et présentation des résultats

2.4.1 Traitement

Le traitement des données consiste à transformer les données recueillies pour obtenir un portrait clair des conditions de circulation. Tel qu'illustré à la figure 7, les données sont filtrées, validées et triées, puis, pour chacun des parcours, la vitesse à chaque seconde, les temps de parcours et vitesses moyennes aux 500 m sont calculées. Plus de 700 fichiers contenant une ligne de relevé par seconde sont ainsi traités mensuellement. Les éléments suivants sont calculés automatiquement par le système :

- le temps de parcours total et la vitesse moyenne de chaque trajet;
- le temps de parcours et la vitesse moyenne par tronçon;
- la durée et la longueur des files d'attente ainsi que la vitesse moyenne dans les files;
- l'heure à laquelle les conditions extrêmes sont observées pour chacun des circuits relevés et pour chacune des périodes de pointe;
- le retard par circuit et pour l'ensemble du réseau routier à l'heure de pointe du matin et de fin d'après-midi;
- le temps de parcours pour les tronçons communs.

2.4.2 Présentation des résultats

Plusieurs types de biens livrables sont produits : graphiques, tableaux ainsi que des cartes représentant les temps de parcours, les vitesses, les files, les retards et plusieurs rapports pour faciliter la gestion du projet.

Graphiques et tableaux

Pour la production de ces biens livrables un gestionnaire de rapport a été développé en Access et permet de créer automatiquement le type de bien livrable souhaité en définissant les paramètres de base nécessaires à la production du bien livrable sélectionné. Les données illustrées représentent :

- les temps de parcours et les vitesses moyennes;
- les profils de vitesses aux 500 m pour les départs de 6 h 20, 7 h 20, 8 h 20, 15 h 20, 16 h 20 et 17 h 20;

Figure 7 Traitement des données

- les files d'attente;
- les taux de retards;
- les tableaux des files;
- le tableau synthèse.

On retrouve à l'annexe A un exemple de ces biens livrables.

Cartes thématiques

De plus, nous avons développé une interface avec MapInfo qui permet d'utiliser la macro Map Basic développée par le MTQ pour créer automatiquement les cartes thématiques avec MapInfo en géocodant les résultats du traitement des données relevées. Ces cartes représentent, pour chacune des deux périodes de pointe, les conditions de congestion observées pour chacun des circuits relevés :

- temps de parcours;
- vitesses moyennes;
- files d'attente;
- taux de retard.

L'annexe B présente ces cartes.

Rapports de gestion

Ces rapports permettent la gestion du projet. En effet, ils assurent le suivi de l'efficacité des releveurs; ils permettent de connaître le taux de succès des relevés; ils indiquent les relevés utilisés pour la confection des cartes; et finalement ils déterminent les chaînages des zones grises dans le cas de la technique GPS.

2.5 Utilisation des résultats

En plus de quantifier la congestion et d'améliorer nos connaissances sur le fonctionnement du réseau, les résultats ont servi, entre autres, pour :

- mieux cibler les interventions;
- mettre en place les indicateurs pour évaluer l'impact des interventions sur le réseau routier [projets du Plan de gestion des déplacements de Montréal (PGDM)];
- les études d'opportunité des autoroutes des Laurentides, Métropolitaine, Jean-Lesage, etc.;
- plusieurs études de voies réservées pour autobus;
- la calibration des modèles EMME/2 et AimsunII;
- l'étude sur l'extension du réseau sous surveillance électronique;
- et d'autres applications possibles, telles que :
 - mesures de temps de parcours réels dans le cadre d'études de circulation
 - . comparaison de différents itinéraires
 - . évaluation de l'accessibilité
 - . calibration des modèles de microsimulation (CORSIM)
 - . études d'impacts des chantiers de construction
 - production de diagrammes espace-temps
 - . étude de synchronisation des feux de circulation
 - . étude du comportement des automobilistes aux arrêts

- . analyse des ondes de choc
- calcul de la demande latente dans un corridor autoroutier

2.6 Bilan et conclusion

2.6.1 Bilan

Depuis mars 1997, le ministère des Transports du Québec réalise des relevés mensuels de congestion sur les axes majeurs de la région de Montréal. Les données recueillies sont traitées de manière à obtenir des résultats graphiques et cartographiques. De plus, cinq indicateurs de performance de la congestion ont été établis et sont calculés mensuellement.

L'ensemble des relevés et le traitement des données des phases 1, 2 et 3 se sont déroulés de façon très satisfaisante :

- 91 % des départs prévus ont été complétés;
- 99 % des données recueillies sont valables;
- 100 % des données valables ont été traitées et présentées sous forme graphique.

Au fil des années nous avons amélioré le système de cueillette de données afin de :

- augmenter la fiabilité des équipements en intégrant les composantes dans une unité (valise) et en réduisant le nombre de branchement;
- diminuer les interventions humaines en réduisant le nombre de branchement;
- améliorer l'ergonomie des équipements en intégrant l'ensemble des composantes dans une valise;
- introduire la calibration dans le véhicule ce qui permet d'utiliser les équipements de collecte sans connaître la calibration du véhicule;
- développer un logiciel de gestion efficace de l'utilisation des véhicules.

De plus, nous avons également mis au point un générateur de rapport qui facilite la production du type de rapport désiré.

2.6.2 Conclusion

Le projet fut un succès en raison de son bon déroulement et du taux élevé de validité des données recueillies, une performance qui a dépassé les attentes du client. La performance repose notamment sur la **richesse des données** recueillies qui a permis la création d'autres applications que celles initialement envisagées au début du projet. **Le traitement des données**, en raison de son grand nombre de données a également été un facteur de performance du projet.

Face au succès du projet de Montréal, le système de gestion informatisé de la congestion a été utilisé par d'autres directions territoriales du MTQ pour des projets similaires à Québec, Saint-Jérôme et Trois-Rivières. Dans le cas de Québec de nouvelles applications informatiques ont été développées pour illustrer de nouvelles thématiques telles que les retards par circuit, les retards pour l'ensemble de la région, les tronçons communs, le tableau synthèse et gestionnaire de rapport.

À la lumière des résultats obtenus, il est actuellement impossible de tirer des conclusions pertinentes sur l'évolution de la congestion. Les variations mensuelles impliquent de comparer les données du même mois sur plusieurs années consécutives. Nous disposons

actuellement de deux ou trois valeurs pour chaque mois, il est impossible d'établir des tendances en ayant que deux ou trois valeurs sachant en plus que les valeurs obtenues ont pu être influencées par les conditions météorologiques, par des incidents ou par des travaux. Pour cette raison, la 4^e phase du projet a été mise de l'avant afin de valider statistiquement la méthode d'échantillonnage et la représentativité des résultats obtenus.

Finalement, l'expérience a démontré que la méthode GPS (automatique) offre beaucoup d'avantage au niveau de l'automatisation du système (repérage automatique sur la route, le chargement des circuits, etc.) et en ce qui concerne la minimisation des interventions humaines. Toutefois, les pertes de réception des signaux GPS lors de la traversée de certains éléments du réseau routier tels les tunnels, certains ponts et à certains endroits au centre-ville de Montréal, exige l'utilisation d'un système de relevé (odomètre du véhicule) pour poursuivre l'enregistrement automatique de la position du véhicule à toutes les secondes. Par conséquent l'utilisation du GPS pour ce type de relevé perd de son intérêt car il requiert également l'utilisation de la méthode odomètre (semi-automatique) en relevé.

RÉFÉRENCES

NCHRP Report 398 – Quantifying Congestion, Volume 1, Final Report, Transportation Research Board, National Research Council, 1997

Urban Mobility Index 2001, Texas Transportation Institute, mai 2001

Développement d'un indicateur synthétique de congestion pour la région de Montréal, SMST, MTQ, février 2001

Développement d'un indicateur descriptif de congestion pour la région de Montréal, SMST, MTQ, mars 2001

Évaluation de la congestion, document de travail, Direction de Laval – Mille-Îles, Service des inventaires et du plan, MTQ, septembre 2000

Annexe A

Exemples de tableaux et graphiques

Annexe B
Cartes thématiques