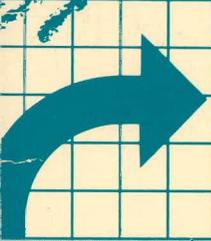


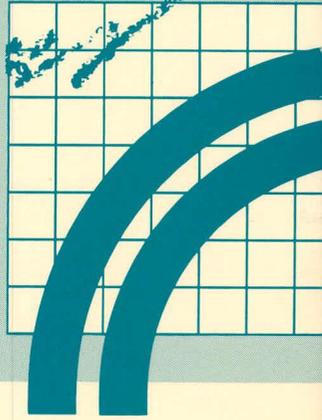
**ÉTUDES ET  
RECHERCHES  
EN TRANSPORTS**



# **LA PRISE EN COMPTE DES AUTOBUS AUX CARREFOURS MUNIS DE FEUX DE CIRCULATION**

**JEAN MICHEL SALVADOR**

**TECHNOLOGIE  
ET INSTRUMENTATION**



CANQ  
TR  
BSM  
RE  
119

**Québec** 

216 935

**MINISTÈRE DES TRANSPORTS**  
DIRECTION DE L'OBSERVATOIRE EN TRANSPORT  
SERVICE DE L'INNOVATION ET DE LA DOCUMENTATION  
700, Boul. René-Lévesque Est, 21e étage  
Québec (Québec) G1R 5H1

**LA PRISE EN COMPTE DES AUTOBUS  
AUX CARREFOURS MUNIS DE FEUX DE CIRCULATION**

CANQ  
TR  
BSM  
RE  
119

UNIVERSITÄT ZÜRICH  
BIBLIOTHEK  
S. 100  
1989

Dépôt légal, 4e trimestre 1989  
Bibliothèque nationale du Québec  
ISBN-2-550-20215-5



Titre et sous-titre du rapport <b>La prise en compte des autobus aux carrefours munis de feux de circulation</b>				N° du rapport Transports Québec RTQ-89-24		
Auteur(s) du rapport <b>Jean Michel Salvador</b>				Rapport d'étape <input type="checkbox"/> An Mois Jour Rapport final <input checked="" type="checkbox"/> 8 9 0 8 1 8		
Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) <b>Direction de la recherche Service de l'innovation et de la recherche 1410, rue Stanley 11e étage MONTRÉAL (Québec) H3A 1P8</b>				Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) <b>Ministère des Transports du Québec 700, boul. Saint-Cyrille Est QUÉBEC (Québec) G1R 5H1</b>		
But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires  Décrire les techniques permettant un traitement préférentiel, pour les véhicules de transports en commun, aux carrefours munis de feux de circulation.						
Résumé du rapport  Parce qu'un autobus transporte, en moyenne, trente fois plus de passagers qu'un véhicule particulier, il est collectivement avantageux de le privilégier dans la circulation urbaine. Dans ce but, les sociétés de transport font de plus en plus appel aux voies et emprises réservées aux autobus.  Les systèmes de prise en compte des autobus aux feux de circulation (SPAFC), constituent un outil supplémentaire à la disposition des collectivités. Largement utilisés en Europe, ces systèmes sont pratiquement absents du paysage nord-américain. En permettant aux autobus de franchir en priorité les carrefours munis de feux de circulation, ils permettent des gains substantiels de temps de parcours et améliorent sensiblement la régularité des horaires.  Ce rapport décrit les différentes techniques de préemption de feux actuellement en usage; les stratégies d'implantation; les bénéfices et inconvénients qui en découlent. Il fournit également certaines évaluations quantitatives des gains de temps de parcours que permettent les SPAFC.						
Nbre de pages	Nbre de photos	Nbre de figures	Nbre de tableaux	Nbre de références bibliographiques	Langue du document	Autre (spécifier)
		1	1	24	<input checked="" type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Anglais	
Mots-clés <b>Transport en commun, préemption, autobus, feux de circulation</b>				Autorisation de diffusion <input checked="" type="checkbox"/> Diffusion autorisée <input type="checkbox"/> Diffusion interdite		
				Signature du directeur général <i>Jean Michel Salvador</i> 89 10 16 Date		

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION . . . . .	1
1. L'EXPÉRIENCE NORD-AMÉRICAINE ET EUROPÉENNE . . . . .	5
2. RÉDUIRE LE TEMPS DE PARCOURS DES AUTOBUS . . . . .	7
2.1 Des temps de parcours trop élastiques . . . . .	7
2.1.1 Les délais aux arrêts . . . . .	7
2.1.2 Le temps d'embarquement et de débarquement des passagers . . . . .	7
2.1.3 Les arrêts aux feux de circulation . . . . .	8
2.2 Les principes de base des SPAFC . . . . .	8
3. LES STRATÉGIES DE PRÉEMPTION . . . . .	13
3.1 Préemption conditionnelle . . . . .	13
3.2 Préemption par prolongation du vert ou réduction du rouge . . . . .	13
3.3 Inhibition de la préemption . . . . .	14
3.4 Les lignes à fréquence élevée . . . . .	14
3.5 Localisation des arrêts d'autobus . . . . .	15
4. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES SPAFC . . . . .	17
5. L'ARCHITECTURE DES SPAFC . . . . .	21
5.1 Options techniques . . . . .	21
5.2 La détection . . . . .	22
5.2.1 Les boucles électro-magnétiques . . . . .	22
5.2.2 Les boucles-antenne . . . . .	23
5.2.3 Émetteur directionnel . . . . .	24
5.2.4 Faisceaux lumineux . . . . .	25
6. LOGICIELS POUR PRISE EN COMPTE DES AUTOBUS AUX CARREFOURS . . . . .	27
CONCLUSION . . . . .	29
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	31

## INTRODUCTION

La congestion automobile dans les grands centres urbains est un fléau de plus en plus répandu. Les conséquences en sont bien connues: pertes des temps de plus en plus importantes (la vitesse moyenne des automobiles dans le centre-ville de Montréal est aujourd'hui plus basse que ce qu'elle était en 1947); pollution atmosphérique et acoustique; accroissement du nombre d'accidents, avec leurs morts, blessés et dommages matériels. Devant une telle situation, l'utilisation accrue du transport collectif de surface, afin d'accroître l'usage des chaussées urbaines quant au nombre de passagers transportés par kilomètre de route, apparaît comme l'une des solutions idéales.

Paradoxalement, à mesure que la congestion augmente, l'achalandage des réseaux de transport en commun diminue, tout au moins en Amérique du Nord. Cela s'explique aisément. Il y a encore quelques années, les transports en commun recrutaient leurs usagers surtout parmi une clientèle captive ne disposant d'aucune autre solution de remplacement: étudiants, femmes, personnes âgées et couches les plus défavorisées de la société. Ces temps sont révolus. La proportion de foyers sans automobile diminue sans cesse, et celle des foyers possédant deux et parfois même trois véhicules devient de plus en plus importante. C'est donc cette clientèle captive qui fond comme neige au soleil. Pour inciter la population urbaine à faire usage des transports en commun, il ne suffit plus de mettre à sa disposition des moyens élémentaires de transports de masse. Encore faut-il que ces moyens de transport soient concurrentiels par rapport à l'automobile, pour ce qui est du prix, du temps de parcours et du confort (confort de l'aménagement intérieur, mais aussi fiabilité, fréquence, proportion de places assises, etc.).

À Montréal, et le constat est tout aussi valable pour la plupart des grands centres urbains nord-américains, l'évolution qualitative des transports en commun n'a pas suivi, loin s'en faut, une tendance vers des tarifs plus concurrentiels, des temps de parcours réduits et un meilleur confort. Pour ce qui est des coûts, la situation est très variable d'une agglomération à l'autre, mais force est de constater qu'au Québec, le

coût du titre de transport n'est pas très inférieur au coût subjectif de l'usage d'une automobile personnelle<sup>1</sup>. Pour un nombre grandissant de voyageurs, cet écart est insuffisant pour les convaincre d'échanger le confort de leur véhicule personnel pour la cohue des transports en commun. Côté performances, les autobus ont un temps de parcours largement supérieur à celui des automobiles et, bien que le métro soit un véhicule rapide et qu'il ne soit pas encombré par les problèmes de circulation, les temps d'attente aux stations et aux points de correspondance ainsi que la nécessité, pour un grand nombre d'usagers, d'utiliser à la fois métro et autobus, rend un grand nombre de déplacements plus rapides en automobile qu'en transports en commun. En ce qui concerne le confort, on n'en est pas à l'autobus de brousse, mais peu s'en faut...

Résultat, selon la dernière enquête origine-destination effectuée dans la région de Montréal, en cinq ans, de 1982 à 1987, dans le Montréal métropolitain, le taux d'utilisation des transports en commun pour les déplacements urbains est tombé de 28 à 23 %. Si rien n'est entrepris pour améliorer les trois termes de l'équation: prix, performance et confort, la situation ne pourra qu'empirer au cours des prochaines années. Réagir à une baisse de l'achalandage et donc des revenus, par une réduction du service, comme cela a été le cas depuis quelques années, ne peut que faire empirer le problème. On tente ainsi de réduire le coût relatif du transport en commun, en rognant sur le confort et la performance. Or, ces trois variables sont intimement liées dans le choix des voyageurs.

Ce document trace un portrait d'une des techniques qui pourrait être utilisée pour améliorer quelque peu deux des termes de l'équation: les prix et la performance du transport en commun de surface. Il s'agit des

---

1. La décision de posséder un véhicule automobile n'étant pas de nature uniquement économique, son propriétaire a naturellement tendance à ne tenir compte que du coût apparent d'un déplacement marginal, dans son choix du mode de transport. Entre automobile et transport en commun, il comparera confort, performance et coût apparent de l'usage de son véhicule (carburant et stationnement), au confort, performance et tarif du transport en commun.

techniques permettant de privilégier les autobus dans la circulation urbaine par l'usage de systèmes de prise en compte des autobus aux feux de circulation (SPAFC).

Comme nous le verrons, ces systèmes font appel à des équipements tout à fait courants (détecteurs à boucles d'induction, récepteurs RF, radio-émetteurs, etc.) et s'appuient sur des méthodes de gestion et des algorithmes bien documentés dans des publications françaises et britanniques. Leur utilisation par les transporteurs québécois ne se bute donc pas à des barrières technologiques, mais à la méconnaissance des avantages qu'ils peuvent procurer.

## 1. L'EXPÉRIENCE NORD-AMÉRICAINNE ET EUROPÉENNE

L'Amérique du Nord est un terrain presque vierge en ce qui concerne l'usage des SPAFC. À la fin des années soixante, Los Angeles expérimente des SPAFC à une échelle réduite. Faute de budgets, l'expérience ne durera cependant que quelques mois et ne sera jamais généralisée. Pendant les années 70, dans la foulée de la crise pétrolière et des divers programmes cherchant à réduire la consommation de produits pétroliers, quelques expériences à portée limitée ont eu lieu dans quelques villes des États-Unis, particulièrement à Miami et à Boston. Toronto expérimentera aussi ces techniques à la fin des années 70. Ces expériences donneront lieu à de nombreuses études théoriques et au développement d'une multitude de modèles de simulation<sup>1</sup>, dont la majeure partie incitent à penser à des performances déplorables des SPAFC, ce qui va ternir la réputation de ces techniques auprès des exploitants de flottes de transport en commun.

Les chercheurs américains reprochent aux SPAFC de n'améliorer que très marginalement le temps de parcours des autobus, et d'avoir un impact trop important sur les autres véhicules. Malheureusement, ces conclusions ne reposent pas sur un terrain bien ferme. Les expériences ayant donné lieu à autant d'études théoriques ne concernaient que des carrefours isolés ou, tout au plus, quelques carrefours contigus, sans que de véritables protocoles expérimentaux n'aient jamais permis d'optimiser l'usage de ces techniques. Ainsi, plusieurs recherches américaines ont porté sur la prise en compte statistique des autobus par des modifications à des logiciels existants de préparation de plans de feux. Les résultats théoriques étaient tout à fait décevants. Comme nous le verrons plus loin, les Britanniques, en créant de toutes pièces des logiciels nouveaux de préparation de plans de feux, conçus dès le départ pour tenir compte

---

1. Faute d'expériences sur le terrain en territoire américain, les chercheurs se contentent de simuler, semblant ignorer le foisonnement d'expériences de grande envergure qui se déroulent de l'autre côté de l'Atlantique.

des lignes d'autobus, arrivent à des résultats pour le moins intéressants. Dans le premier cas, le point de départ est un logiciel qui cherche à minimiser le temps d'attente des véhicules; dans le second cas, on part du principe qu'il faut minimiser le temps d'attente des passagers et des marchandises. Les résultats obtenus sont diamétralement opposés.

Alors que les SPAFC étaient pratiquement oubliés en Amérique du Nord, des expériences d'envergure en France, au Royaume-Uni, en RFA et en Hollande, vont permettre de raffiner ces techniques et de mettre au point des équipements et des logiciels réellement performants. Aujourd'hui, les SPAFC sont d'un usage courant et accompagnent presque systématiquement tout nouveau système d'aide à l'exploitation dans les transports en commun. Londres, Paris, Lyon, Marseille, Amsterdam, Barcelone et des dizaines d'autres villes européennes utilisent aujourd'hui les SPAFC pour privilégier les autobus, de façon ponctuelle ou permanente, dans le flot de circulation urbaine. C'est donc d'Europe que nous vient l'information la plus à jour et la plus pertinente sur les SPAFC.

## 2. RÉDUIRE LE TEMPS DE PARCOURS DES AUTOBUS

### 2.1 Des temps de parcours trop élastiques

De façon générale, il est deux fois plus long de faire un trajet urbain en autobus qu'en automobile pour trois raisons:

#### 2.1.1 Les délais aux arrêts

Le plus souvent, l'autobus urbain aura à quitter sa voie de circulation pour parvenir à son arrêt. La réintégration du flot de circulation est laborieuse et occasionne des pertes de temps non négligeables. De plus, lorsque des horaires aux arrêts doivent être respectés, la variance sur le temps de marche de l'autobus impose des temps d'attente dès que le véhicule est en avance sur cet horaire.

Une signalisation interdisant l'arrêt et, à fortiori, le stationnement de véhicules le long des lignes d'autobus les plus importantes, si elle est strictement appliquée, permettra aux autobus de réduire substantiellement le temps nécessaire à la réintégration du flot de circulation.

Les systèmes de localisation et d'information en temps réel, en réduisant les retards moyens ainsi que leur variance, et en permettant d'informer les usagers sur l'heure exacte d'arrivée de l'autobus à son arrêt, permettent de réduire l'impact des retards sur les usagers.

#### 2.1.2 Le temps d'embarquement et de débarquement des passagers

Il sera d'autant plus long que les autobus sont près de leur limite de capacité, car il se crée alors des bousculades et des engorgements coûteux en temps de parcours total.

Ces délais peuvent être substantiellement réduits en faisant en sorte que les embarquements et débarquements se fassent par des portes distinctes,

et en prenant la précaution d'avoir suffisamment d'autobus pour éviter les bousculades aux arrêts provoquées par des autobus trop pleins.

### 2.1.3 Les arrêts aux feux de circulation

Au temps d'attente normal aux feux de circulation, s'ajoute la difficulté à réintégrer le flux de circulation, lorsque l'arrêt d'autobus se trouve juste en amont de l'intersection et que le stationnement sur rue est permis. Dans un grand centre urbain, ces retards constituent de 10 à 20 % du temps total de parcours d'un autobus.

C'est à ce niveau que les SPAFC permettront des gains significatifs. Il s'agit d'accorder aux autobus un certain degré de priorité de passage aux feux de circulation, en vertu du principe que le coût économique et social d'un retard occasionné à un autobus est beaucoup plus important que celui occasionné à une automobile, en raison du plus grand nombre de passagers qui l'occupent. À Montréal, aux heures de pointe, les véhicules automobiles transportent en moyenne 1,2 personne. Un autobus, quant à lui, transporte en moyenne une quarantaine de passagers.

Dans une étude faite par le CETUR en 1978 auprès de 33 municipalités françaises<sup>1</sup>, ses auteurs révèlent que, de façon générale, 45 à 50 % des autobus ayant à franchir un carrefour à feux y seront arrêtés. Avec un SPAFC, ce taux n'est plus que de 10 à 14 %.

## 2.2 Les principes de base des SPAFC

Pour accorder un certain avantage aux autobus lorsqu'ils ont à franchir un carrefour muni de feux de circulation, il faut établir une communication, directe ou indirecte, entre le véhicule et l'appareil de contrôle de carrefour. L'approche de l'autobus doit être détectée suffisamment à l'avance pour permettre au contrôleur de lui laisser franchir le

---

1. Voir «Priorité des autobus aux feux de carrefour».

carrefour sur un feu vert, en prolongeant la durée de celui-ci ou en réduisant celle du rouge. Le moment du passage doit également être indiqué au contrôleur, pour permettre un retour à la normale le plus rapide possible, minimisant ainsi l'impact sur les autres voies de circulation. Il faut, dans tous les cas, éviter de modifier les cycles, afin de ne pas perturber la coordination de base du réseau de signalisation. Une altération des phases du cycle, avec récupération sur les cycles suivants, est normalement suffisante.

Ces principes de base doivent cependant être adaptés au contexte particulier de chaque exploitant de flotte d'autobus, aux conditions locales de circulation, au type de gestion de feux et aux autres systèmes de contrôle déjà en usage pour la gestion de la flotte. Les équipements utilisés, les stratégies de préemption et les logiciels qui les exécutent, varieront donc beaucoup selon le contexte particulier de chaque ville.

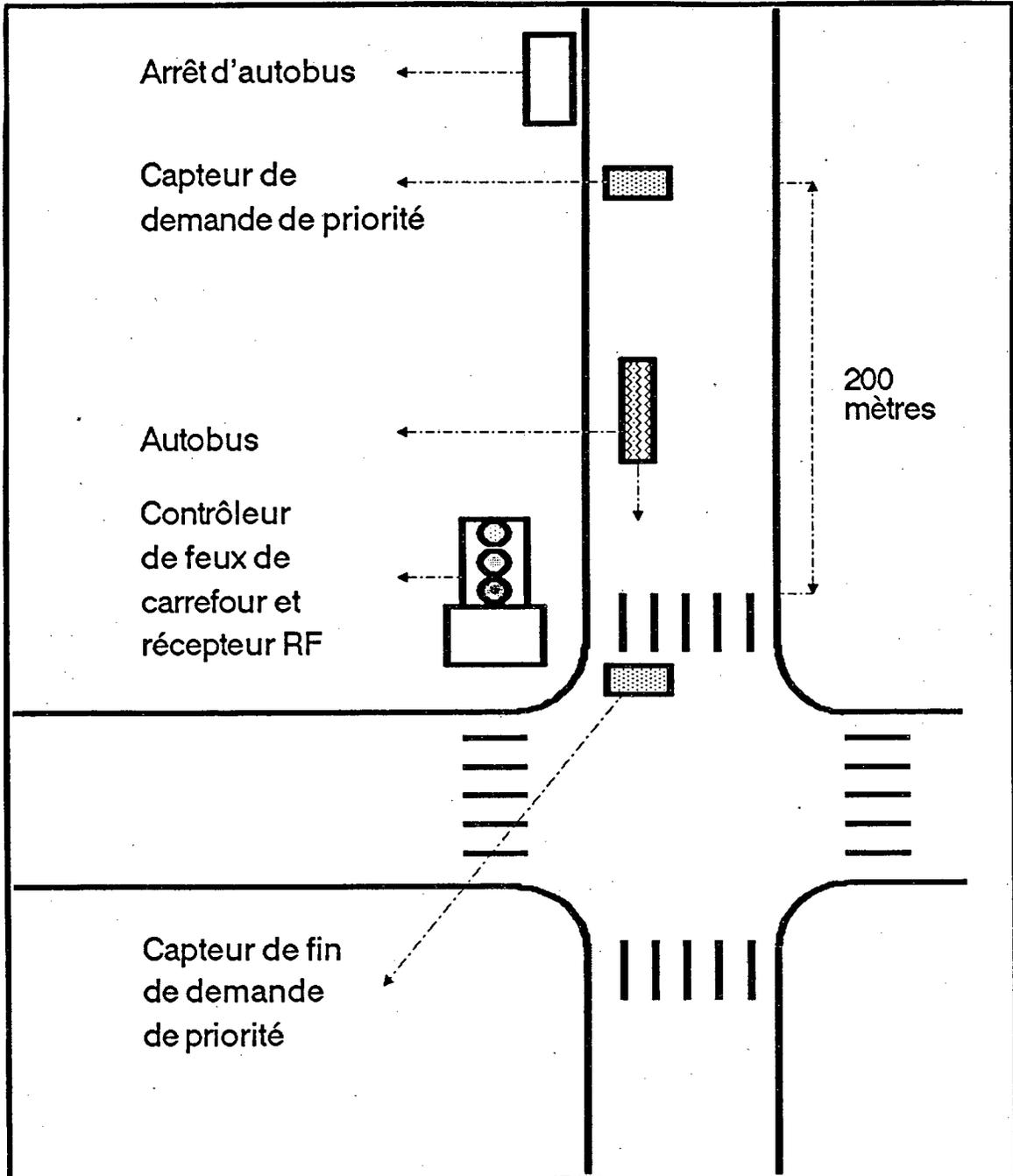
Un exemple de ce à quoi peut ressembler un SPAFC permettra de bien illustrer ce dont on parle (figure 1). Il s'agit d'un cas particulier, celui d'un réseau de feux sans contrôle central et d'une flotte d'autobus sans système d'aide à l'exploitation (SAE), ce qui correspond à la situation qui sera le plus souvent rencontrée au Québec.

Autobus et contrôleur de carrefour sont équipés d'appareils radio émetteur-récepteur. Deux détecteurs (balises, boucles ou autres) sont installés, l'un à 200 ou 300 mètres en amont du carrefour<sup>1</sup>, l'autre tout de suite en aval du même carrefour. Dès que l'autobus se trouve à portée de l'émetteur de carrefour, l'autobus reçoit un signal d'identification émis par le contrôleur. Il répond par un signal codé d'identification de ligne reçu par le détecteur en amont. Celui-ci retransmet le signal vers

---

1. La distance de détection dépend de divers paramètres: la vitesse moyenne de l'autobus entre le détecteur et le carrefour; la variance de cette vitesse; le temps maximum permis de déformation de phase; la position des arrêts; etc. Elle doit donc être déterminée en fonction des particularités propres à chaque site.

Figure 1



le contrôleur, qui active alors la procédure de préemption. En cas de feu vert, celui-ci est maintenu jusqu'à confirmation de passage par le détecteur aval. En cas de feu rouge, il est réduit à une durée minimale prédéterminée. Les modifications apportées au cycle sont récupérées sur le cycle suivant.

En cas de congestion au carrefour, la préemption est refusée, mais le contrôleur renvoie l'ordre de préemption au carrefour suivant. Les liens contrôleur-détecteurs sont assurés par des paires de fils, alors que les liaisons autobus-détecteur et contrôleur-autobus sont faites sur ondes radio.

Les coûts d'implantation sont eux aussi fort variables d'un cas à l'autre. Planter un SPAFC ne représentera qu'un coût fort marginal dans une ville équipée d'un système central de coordination des feux de circulation et dont l'organisme de transport public utilise déjà un système sophistiqué de localisation et d'aide à l'exploitation (SAE). Par contre, si les autobus ne sont pas munis de radio-émetteurs et si les feux ne sont pas coordonnés par un système central, le coût d'implantation d'un SPAFC peut être très onéreux.

En France, le coût de l'équipement de carrefour varie de 3 500 \$ à 5 000 \$, selon la technologie utilisée et la complexité du carrefour.

### 3. LES STRATÉGIES DE PRÉEMPTION

Les algorithmes utilisés pour la gestion de la préemption sont aussi importants, si non plus, que les techniques utilisées. De façon générale, certains principes de base doivent être respectés pour assurer le succès d'un SPAFC:

#### 3.1 Préemption conditionnelle

Dans le cas d'intersections qui, aux heures de pointe, sont proches du débit de saturation, accorder une priorité aux autobus peut créer des embouteillages qui finissent par nuire à la marche de l'autobus lui-même, tout en provoquant des retards inacceptables pour les automobilistes. Dans les cas de carrefours critiques, il est donc primordial d'effectuer des comptages préalables, pour déterminer si on doit ou non y appliquer des techniques de préemption et s'il y a des périodes de la journée pendant lesquelles il faut l'éviter.

#### 3.2 Préemption par prolongation du vert ou réduction du rouge

Sauf pour les cas exceptionnels, il faut éviter d'utiliser des techniques de préemption impliquant une phase particulière pour les autobus<sup>1</sup>, car on augmente ainsi les inconvénients causés aux autres véhicules. La préemption par prolongation de la phase verte ou réduction de la phase rouge, si elle s'accompagne d'une récupération sur le ou les cycles suivants (la durée totale de vert est ainsi maintenue dans toutes les directions), provoque peu de nuisances aux autres usagers de la route et est même bénéfique aux autres véhicules circulant dans la même direction que l'autobus. Elle est donc beaucoup mieux acceptée par les automobi-

---

1. Le cas de la voie réservée du pont Viau, qui relie Montréal à Laval, constitue probablement un tel cas d'exception. La fréquence d'autobus sur cette voie est très élevée aux heures de pointe, ce qui justifie probablement l'emploi d'une phase particulière pour les autobus, d'autant plus que la direction empruntée par ceux-ci diffère de celle des autres véhicules.

listes. La prolongation du vert ne doit cependant pas être d'une longueur telle qu'elle élimine totalement une phase du cycle. Il faut éviter de déformer le cycle au point de causer une saturation des entrées du carrefour qui aura tôt fait de déborder sur les carrefours adjacents.

### 3.3 Inhibition de la préemption

Particulièrement dans le cas de lignes d'autobus à fréquence élevée, laisser tout autobus qui arrive au carrefour prendre priorité peut rapidement amener à une impossibilité de récupération sur les cycles suivants. Les inconvénients pour les autres usagers de la route deviennent alors difficilement supportables et la coordination des feux, si elle existe, peut être totalement chambardée.

Dans le cas de réseaux munis d'un SAE, il est parfois avantageux de n'accorder la priorité au carrefour que lorsque l'autobus est en retard sur son horaire. On évite ainsi que l'autobus, grâce à la priorité qui lui est accordée, se retrouve trop souvent en avance sur son horaire. Dans un tel cas, c'est peut-être signe qu'il est temps de revoir cet horaire.

### 3.4 Les lignes à fréquence élevée

Les inconvénients causés par un SPAFC aux autres usagers de la route sont en général marginaux, mais ils augmentent avec la fréquence des autobus. Il deviennent vite inacceptables lorsque la fréquence approche ou dépasse un autobus par cycle de feux. À Montréal, où les cycles sont le plus souvent de 60 secondes, il faudrait éviter de faire appel aux SPAFC sur les lignes ayant en tout temps une fréquence de plus de 40 autobus à l'heure<sup>1</sup>. Dans le cas de lignes à haute fréquence, il sera plus avanta-

---

1. Il n'y a probablement aucune ligne ayant une fréquence aussi élevée en service au Québec, mais dans certains cas, de nombreuses lignes convergent vers un même carrefour. Il peut alors arriver qu'il y ait plus de 40 autobus à l'heure susceptibles de demander la préemption.

geux de penser à utiliser un couloir réservé aux autobus ou mieux, à une emprise réservée, avec une synchronisation de feux tenant compte de la présence des autobus.

### 3.5 Localisation des arrêts d'autobus

Pour assurer la préemption, il faut détecter l'approche de l'autobus à une distance suffisante pour permettre le dégagement de la file de véhicules qui le précèdent, afin de le laisser franchir le feu. Il est alors facile de comprendre que si l'autobus s'arrête entre le détecteur et le carrefour pour prendre des passagers, ou bien il perdra le bénéfice du vert ou, pire, il obligera le contrôleur à maintenir le feu au vert pendant toute la période d'immobilisation à l'arrêt. Il est donc primordial de situer les arrêts en aval des carrefours, à défaut de quoi il faudrait recourir à des techniques de préemption faisant appel à une intervention volontaire du chauffeur pour permuter le feu. Une telle solution est à proscrire, car elle conduit rapidement à un usage abusif de la préemption et a largement fait la preuve de son inefficacité.

#### 4. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES SPAFC

On peut résumer les avantages et les inconvénients des SPAFC de la façon suivante:

##### Bénéfices pour les usagers

- Gains de temps par une réduction du temps de parcours des autobus.
- Gains de temps par une réduction du temps d'attente aux arrêts, grâce à une meilleure régularité dans le respect des horaires.

##### Bénéfices pour l'exploitant

- Augmentation de l'achalandage consécutif à une amélioration de la fiabilité des horaires et à la réduction du temps de parcours.
- Réduction des coûts d'exploitation par une réduction du nombre d'autobus nécessaires pour assurer le service.

##### Inconvénients

- Augmentation du temps de parcours pour les autres véhicules, sur les rues transversales, mais réduction du temps de parcours pour les autres véhicules utilisant le même parcours que l'autobus.

L'ampleur du gain de temps de parcours permis par l'utilisation d'un SPAFC est très variable. Elle dépend du nombre de carrefours équipés, de la longueur de la ligne, de la fréquence des autobus, etc. Les gains peuvent aller de quelques points de pourcentage à 25 ou même 40 % de réduction du temps de parcours. En général, le temps perdu en arrêt aux carrefours est réduit dans une proportion pouvant aller de 60 à 80 %. La décision d'équiper un carrefour, une ligne ou toute une flotte, devra donc reposer sur une analyse du temps perdu par les autobus aux carrefours. Il serait tout à fait inutile d'utiliser un SPAFC sur une ligne pour laquelle la coordination des feux est déjà suffisante pour limiter

substantiellement le temps d'attente des autobus aux carrefours. Par contre, un tel système deviendra précieux dans le cas de lignes où ce temps perdu représente une part significative du temps de parcours.

En général, la priorité accordée aux autobus est:

- Très bénéfique pour les voies et emprises réservées aux autobus. Lorsque l'autobus est pris dans le flot général de circulation, le temps de prolongation du vert doit être suffisant pour permettre à la file de véhicules qui précèdent l'autobus de traverser l'intersection, permettant ainsi à ce dernier de le faire à son tour. Par contre, lorsque l'autobus est sur voie ou sur emprise réservée, la durée de vert additionnelle est très courte. Les gains générés par un système de préemption seront donc beaucoup plus importants dans ce dernier cas.
  
- Bénéfique en carrefour isolé ou en ligne, à condition que le trafic soit inférieur au débit de saturation du carrefour. Pour s'en assurer, il est donc souhaitable de prévoir un compteur permanent de débit de circulation pour que la priorité soit désactivée à l'approche du débit de saturation. De tels compteurs n'ont cependant pas besoin d'être installés à chaque carrefour puisque des études de circulation préalables peuvent permettre d'identifier les carrefours pour lesquels les variations de débit sont similaires. Quelques compteurs suffisent alors en tant qu'indicateurs de charge du réseau<sup>1</sup>.
  
- Bénéfique si la fréquence est inférieure à 40 autobus/heure. Plus la fréquence des autobus est élevée, plus les bénéfices s'amenuisent et les inconvénients pour les autres usagers de la route augmentent, car

---

1. Dans le cas de SPAFC utilisant des détecteurs à boucles électromagnétiques, ceux-ci peuvent également servir à la surveillance continue du niveau de congestion.

il devient de plus en plus difficile de récupérer les altérations des phases du cycles sur les cycles suivant une préemption.

- **Discutable** à plus de 40 autobus/heure, car les bénéfices pour les usagers de l'autobus seront pratiquement annulés par les inconvénients aux automobilistes. Il est alors indispensable de faire une détection de queue, pour vérifier le moment de passage à l'intersection, minimisant ainsi le temps de perturbation du cycle.
- **Nuisible** à plus de 60 autobus/heure, car les inconvénients pour les autres usagers de la route dépassent alors les bénéfices pour les autobus. À un tel débit, il est donc déconseillé de privilégier les autobus. Une bonne coordination des feux sera alors beaucoup plus avantageuse pour l'ensemble des usagers de la route.
- **Nuisible** si elle est appliquée à l'ensemble des carrefours, car elle devient alors trop perturbante pour la coordination de feux. D'ailleurs, les coûts exorbitants d'une telle infrastructure rendent une autre option beaucoup plus souhaitable: doter la ville d'un système central de coordination des feux géré par un logiciel qui tienne compte de présence de lignes d'autobus et relié à un SAE de la flotte d'autobus. Une coordination efficace peut alors être assurée, bénéfique aux autobus comme aux autres véhicules, tout en permettant la préemption à certains carrefours particuliers.

Les bénéfices apportés aux autobus par un SPAFC sont réels et indéniables, mais leur importance varie considérablement selon le contexte. De nombreuses études françaises et britanniques ont permis de mesurer les avantages que procure la préemption. Les diminutions de temps de parcours lors des expériences varient de 6 à 42 %. Le retard moyen occasionné aux autres véhicules varie de 0,3 à 2,5 % du temps de passage sans SPAFC. Ce sont donc les conditions particulières à un carrefour ou à une ligne qui permettront de déterminer si les bénéfices dépassent suffisamment les inconvénients pour justifier l'investissement dans un SPAFC.

## 5. L'ARCHITECTURE DES SPAFC

### 5.1 Options techniques

L'organigramme suivant résume, pour l'essentiel, les diverses possibilités techniques disponibles dans l'élaboration d'un SPAFC.

#### FLOTTE MUNIE D'UN SAE (Radio et localisation précise)

Si le SAE comprend un mode de localisation suffisamment précis (erreur de l'ordre de grandeur de l'autobus), on pourra se servir de cette information pour la détection de préemption. Dans le cas contraire, il faut s'en tenir aux mêmes options que pour une flotte sans SAE.

#### CONTRÔLE CENTRAL DES FEUX DE CIR- CULATION

Priorité par communication directe entre l'ordinateur du système de gestion de feux et celui du système de gestion de la flotte.

#### CONTRÔLE LOCAL DES FEUX DE CIRCULATION

Priorité par message radio envoyé du central vers le contrôleur. Ce signal peut être relayé par la radio de l'autobus ou par l'antenne d'une station commerciale de radio MF. Le contrôleur doit être muni d'un radio-récepteur MF et il doit être programmable ou muni d'un module programmable pouvant changer les plans de feux du carrefour.

#### FLOTTE SANS SAE

Sans SAE, il faut prévoir un moyen de détection du véhicule à l'approche du carrefour.

#### AUTOBUS MUNIS DE RADIOS

Priorité par message radio envoyé de l'autobus à un capteur situé à bonne distance du carrefour. Le capteur est relié au contrôleur par des fils.

#### AUTOBUS SANS RADIO

C'est la situation pour laquelle le coût marginal de la préemption est le plus élevé. Chaque carrefour doit être doté d'un détecteur permettant d'identifier l'approche de l'autobus. Plusieurs technologies peuvent être utilisées à cette fin: antennes au sol avec transpondeurs sur autobus; boucles d'induction avec algorithme d'identification de formes; émetteur sur autobus; capteur de faisceau lumineux ou infrarouge, etc.

#### CONTRÔLE CENTRAL DES FEUX

Le signal est retransmis par le contrôleur de carrefour vers l'ordinateur de régulation, qui doit alors tenir compte de la demande de préemption dans son plan de feux.

#### CONTRÔLE LOCAL DES FEUX

Le contrôleur doit être doté de son propre programme pour pouvoir tenir compte de la demande de préemption. Il doit donc être programmable ou muni d'un module programmable pouvant changer les plans de feux du carrefour.

Les équipements utilisés pour les SPAFC dépendent beaucoup du contexte particulier du carrefour, mais surtout des infrastructures de contrôle et de communication préexistantes. Ce qui distingue les divers systèmes en usage en Europe, c'est principalement le type de détection utilisé et le lien de communication entre le véhicule et le contrôleur.

## 5.2 La détection

Pour qu'un autobus puisse bénéficier d'une priorité de passage au carrefour, il faut être en mesure d'indiquer son approche au contrôleur ou au système de gestion de feux de circulation (SGFC). Idéalement, si l'exploitant utilise déjà un SAE avec localisation précise (possibilité d'erreur inférieure à la longueur d'un autobus), cette information peut être directement transmise au SGFC ou au contrôleur<sup>1</sup>. Lorsqu'il n'y a pas de SAE, une détection sélective des autobus doit être faite à chaque carrefour. Plusieurs technologies de détection peuvent être utilisées à cette fin:

### 5.2.1 Les boucles électro-magnétiques

Deux boucles électro-magnétiques sont enfouies dans la chaussée à une distance adéquate du carrefour et espacées de la longueur d'un autobus. Le module de détection, qui peut faire partie de l'armoire de contrôle, est muni d'un algorithme qui compare la longueur du véhicule et l'espacement des essieux à une table de concordance décrivant chaque type d'autobus. Dans la plupart des cas, un tel système permet une discrimination fiable des autobus par rapport aux autres véhicules (il subsiste

---

1. Il suffit, dans ce dernier cas, de munir le contrôleur d'un récepteur MF et d'utiliser l'émetteur d'une station de radio, en sous porteuse, pour retransmettre l'information. C'est la technique utilisée pour les armoires à feux PIAF en France, où un signal radio, retransmis par France-Inter, sert au recalage périodique des horloges des contrôleurs de feux de circulation, ce qui évite d'avoir à les relier par câble.

cependant toujours des erreurs). Cette technique est particulièrement bien adaptée pour les flottes d'autobus très homogènes, comme celles qu'on retrouve actuellement au Québec. Elle ne nécessite aucun équipement particulier dans l'autobus et est utilisable en situation de contrôle central des feux tout comme en contrôle local.

Les boucles d'induction peuvent également servir pour la détection d'autres catégories de véhicules (pompiers par exemple), tout comme pour des comptages routiers. Cependant, le comptage de queue nécessite une seconde installation de détection.

Au Canada, les boucles coûtent environ 800 \$ l'unité, installation comprise. L'électronique de détection sélective est cependant substantiellement plus coûteuse. Fabricants: Elliot, Plessey, Sarasota, Silec, Phillips (Vetag), GK Instruments, Golden River, etc.

Des câbles piézo-électriques pourraient également être utilisés à la place des boucles électro-magnétiques, en élaborant des tables de concordance adaptées à ce type de détection<sup>1</sup>.

### 5.2.2 Les boucles-antenne

Des boucles électro-magnétiques, jouant ici le rôle d'antenne, sont enfouies dans la chaussée. L'autobus utilise un émetteur de 100 kHz pour s'identifier auprès de la boucle. À long terme, cette technique peut provoquer des effets de mimétisme: usage frauduleux d'émetteurs pirates. Cette technique peut difficilement permettre d'utiliser la boucle à d'autres fins. Cette option, sans présenter les avantages de la première, entraîne des coûts aussi élevés, puisqu'il faut munir chaque véhicule de son propre émetteur. Fabricants: OTIC-Fisher, JAY, EVR.

---

1. La compagnie britannique GK Instruments Ltd., avec la collaboration de l'université de Nottingham, mène actuellement des essais avec des câbles piézo-électriques, dans le but d'élaborer des tables de concordance permettant de distinguer les différentes catégories de véhicules à identifier.

### 5.2.3 Émetteur directionnel

Un émetteur radio ou radar directionnel à faible puissance équipe chaque autobus. Son signal est capté au niveau du contrôleur de carrefour (puissance moyenne) ou par un capteur latéral relié au contrôleur par des fils (faible puissance).

Un tel système, outre la priorité simple, permet l'envoi de signaux codés qui peuvent ou non être retransmis par le contrôleur vers le centre de contrôle de la flotte. Il peut donc servir à une hiérarchisation du système de priorité tout comme à la transmission d'autres renseignements utiles à l'exploitation de la flotte. Lorsque le capteur se trouve au niveau du contrôleur, nécessitant ainsi l'usage d'un signal à portée moyenne, des problèmes de parasites et d'interférences peuvent perturber le système. En outre, la portée du signal peut varier selon les conditions climatiques ou l'environnement électro-magnétique, ce qui accroît d'autant l'incertitude sur la distance à laquelle se trouve l'autobus au moment où le signal est reçu.

Lorsque le capteur se trouve sur un poteau ou une façade d'immeuble, le long de la chaussée, il est impératif que l'autobus circule sur la voie adjacente au capteur. Autrement, il peut se produire des effets de masque ou de réflexion d'ondes qui induiront des erreurs de détection. Fabricants: SFIM (Ovide), 3M (OPTICOM), EVR.

D'autres types de détecteurs, similaires aux précédents, comme les transpondeurs micro-ondes et à ultra-sons, pourraient sans doute être utilisés à des fins de préemption, mais ils auraient à être expérimentés, puisqu'ils ne semblent pas avoir été mis à profit dans des SPAFC. Ces transpondeurs commencent à être répandus aux États-Unis pour l'identification de véhicules à des postes de péage, des stationnements ou des zones de sécurité. Les transpondeurs à ultra-sons ont un coût très

modique (quelques dizaines de dollars), mais les antennes réceptrices coûtent de 20 000 \$ à 30 000 \$.

#### 5.2.4 Faisceaux lumineux

Ici, le signal est transmis par un émetteur lumineux ou infra-rouge haute intensité monté sur l'autobus (1 100 \$ US). Un capteur optique avec sélecteur de phase (4 000 à 6 000 \$ US) monté sur le contrôleur reçoit et analyse le signal. En usage dans la région de Québec pour permettre aux pompiers de faire passer les feux au vert, cette technique est mal adaptée aux besoins du transport en commun. Le faisceau a une portée qui varie trop selon les conditions climatiques, ce qui ne permet pas de savoir à quelle distance se trouve réellement le véhicule lorsqu'il est repéré par le détecteur. De plus, le signal sera interrompu par tout obstacle (camion) se trouvant sur la «ligne de tir». Fabricant: 3M (OPTI-COM).

Actuellement, trois entreprises européennes peuvent être considérées comme les leaders dans le domaine des SPAFC, ayant un grand nombre d'installations à leur actif: Compagnie générale d'automatismes (CGA-HBS) en France, Phillips aux Pays-Bas et Sarasota au Royaume-Uni.

Il n'y a aucun fabricant québécois de systèmes de détection de véhicules, pas plus pour des SPAFC que pour les statistiques routières. Une entreprise canadienne, I.R.D., de Saskatoon, fabrique des systèmes de détection et comptage routier qui pourraient, moyennant certaines modifications aux algorithmes de détection, servir à des fins de préemption.

Pour ce qui est des équipements d'origine européenne, il faut toujours prendre garde aux spécifications climatiques. Un appareil dont le fonctionnement est garanti jusqu'à -20°C pourra fonctionner parfaitement bien en France, au Royaume-Uni ou en Belgique, mais il en sera tout autrement au Québec. Il est donc important de prévoir des spécifications techniques qui tiennent compte des rigueurs particulières à notre climat.

## 6. LOGICIELS POUR PRISE EN COMPTE DES AUTOBUS AUX CARREFOURS

Comme nous l'avons vu plus haut, il est possible de favoriser les autobus aux carrefours, par des installations spécifiques de préemption de feux, mais il est également possible de le faire par des logiciels capables d'accorder un traitement préférentiel aux autobus, dans l'opération d'un SGFC.

Trois générations de logiciels pour SGFC sont aujourd'hui en usage, correspondant à trois façons d'opérer de tels systèmes. Toutes trois partagent un objectif commun: minimiser le temps d'attente aux carrefours.

La première, utilisée à Montréal jusqu'au milieu des années 80, a recours à des logiciels de type TRANSYT, pour l'élaboration périodique de plans de feux. À partir d'un historique des données de circulation, donc de statistiques, on élabore des plans de feux pour chaque période de la journée, de la semaine ou de l'année (pointe et hors pointe, fins de semaine, jours fériés, événements annuels récurrents, etc.). Une fois élaborés, les plans de feux détermineront les cycles utilisés à chaque intersection, jusqu'à ce que de nouveaux comptages et de nouveaux plans de feux soient produits. Les systèmes de première génération permettent des changements de plans de feux à intervalles aussi petits que 15 minutes, mais ils doivent tous avoir été prévus lors du calcul d'optimisation, ce qui ne permet pas de faire face à des événements imprévus.

La deuxième génération ajoute un comptage permanent à des endroits choisis comme indicateurs caractéristiques du trafic, ce qui permet une régulation semi-adaptative, en changeant les plans de feux à intervalles courts (aux dix minutes par exemple), mais par un nouveau calcul d'optimisation cette fois. C'est donc la situation de la circulation à la période  $n-1$  qui détermine le plan de feux de la période  $n$ .

La troisième génération a massivement recours à des détecteurs de véhicules aux carrefours, de façon à adapter, de façon presque simultanée, les cycles de feux au niveau réel de la circulation. En fait, tout ce qui les distingue des systèmes de deuxième génération, c'est un intervalle beaucoup plus court entre les calculs d'optimisation, soit deux à trois minutes.

Dans les trois cas, il existe aujourd'hui des versions de logiciels qui permettent de prendre en compte les autobus en tant que véhicules à haute capacité, en leur octroyant un poids relatif plus grand qu'aux autres véhicules dans le calcul de minimisation du temps d'attente. Les spécialistes du domaine ne s'entendent cependant pas sur les bienfaits de telles versions de logiciels. On retrouve autant d'études affirmant qu'ils n'améliorent aucunement les performances des transports en commun, que d'études qui en vantent les mérites. Il semble qu'on obtienne de meilleurs résultats avec les logiciels dits de première génération, reposant sur des statistiques historiques, qu'avec les autres qui réagissent avec retard à une situation ponctuelle (période n-1) qui peut fort bien ne pas être représentative des tendances du flux de circulation.

Certains logiciels de gestion de feux, comme SCOTT, permettent la prise en compte des autobus et un traitement préférentiel en temps réel. Les infrastructures nécessaires à leur utilisation sont cependant très importantes et, selon plusieurs auteurs, les résultats ne seraient pas très significatifs. De plus, l'utilisation de tels logiciels à des fins de préemption impose d'énormes efforts de calibration.

Il semble que, pour avantager les transports en commun par des mesures de préemption, la meilleure option consiste à utiliser un SGFC de première génération capable d'accorder un poids particulier aux autobus, et de le relier à l'ordinateur d'un SAE, à l'aide d'un module permettant de déformer temporairement les phases d'un cycle de feux, sans pour autant changer la coordination de base.

**CONCLUSION**

Aujourd'hui, les technologies sur lesquelles reposent les SPAFC sont matures. Des améliorations peuvent sans doute être apportées à leur utilisation (couplage à des SGFC, emploi de transpondeurs ultra-soniques, etc.), mais l'incertitude quant à leur bon fonctionnement technique et à leurs performances est chose du passé.

L'utilisation des SPAFC pour améliorer la performance des flottes de transport collectif en sol québécois ne peut qu'être bénéfique pour leurs usagers, tout en ne provoquant que des inconvénients mineurs aux autres utilisateurs de la route.

Mais comme Saint-Thomas, on a beau lire d'élogieux rapports sur les performances des SPAFC, on a beau les voir fonctionner en sol français ou britannique, on reste sceptique. Pour inciter les organismes de transport et les municipalités à faire appel aux SPAFC afin d'améliorer l'efficacité des réseaux de transport, il serait sans doute nécessaire de procéder, au Québec, à des démonstrations susceptibles de faire la preuve qu'il s'agit là d'investissements rentables.

N'importe quel organisme de transport en commun, aussi petit soit-il, peut constituer un terrain valable de démonstration, puisque les SPAFC sont tout aussi utiles pour de petites que pour de grandes flottes, pour les lignes à trois carrefours que pour celles qui en comportent cinquante.

La réfection prochaine de l'autoroute Métropolitaine pourrait constituer une excellente occasion pour permettre à ces techniques de faire leurs preuves. Que cette réfection soit faite en fermant totalement ou partiellement l'autoroute, elle provoquera des problèmes de circulation monstrueux pour toute la région de Montréal. Pour tenter de prévenir une telle situation, il sera sans doute utile de doter certaines artères urbaines d'un système efficace de coordination de feux, et de faire appel

à des services spéciaux de transport par autobus, qui tireraient grandement avantage d'un système de préemption de feux de circulation.

Un projet de démonstration bien mené sera toujours infiniment plus convaincant que des dizaines de rapports.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN, D.W. De Leuw, Cather and Company, Observations on Transit Delay at Traffic Signals, American Society of Civil Engineers 1982 Proceeding, p. 272-283, 1982.
- ASCE JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING, Bus Priority Strategy: Justification and Environmental Aspects, January 1983.
- BAY, P.N. Preferential Treatment for Public Transit in City Street Operations, American Society of Civil Engineers, 1982 Proceeding, p. 159-165, 1982.
- CETUR, Systèmes d'aide à l'exploitation. Réalisations françaises, France, 1988.
- CETUR, Exploitation des carrefours à feux. La démarche P.I.A.F. pilote informatique d'armoires à feux, France, 1985.
- CETUR, Guide général de la voirie urbaine: conception, aménagement, exploitation, France, 1988.
- CETUR, Carrefours à feux, France, 1988.
- CETUR, Systèmes d'aide à l'exploitation des transports publics urbains - rapport de synthèse, France, 1984.
- CETUR-MELATT, Cahier de recommandations des systèmes d'aide à l'exploitation pour les petits réseaux de transport urbain (SICLOP), Paris, 1988.
- COLIN BUCHANAN AND PARTNERS, for the London Regional Transport, Bus Priorities in London, London, 1987.
- COTTINET, Marcel, Priorité des autobus aux feux de carrefours, Paris, Institut de recherche des transports, Rapport de recherche de l'I.R.T. N° 43, 1979.
- EVANS, H.K. SKILES, G.W. Improving Public Transit Through Bus Preemption of Traffic Signals, Traffic Quarterly, Vol. 24, October 1970.
- GARTNER, N.H. Prescription for Demand-responsive Urban Traffic Control, Transportation Research Record #881, p. 73-76, 1982.
- GROUPE DE TRAVAIL RÉGULATION DU TRAFIC EN ILE-DE-FRANCE Prise en compte des transports en commun, Paris, 1986.
- HEYDECKER, B. Delay at a Junction Where There is Priority for Buses, London, Proceedings of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, July 11-13 1984.

JACOBSON, J. SHEFFI, Y. Analytical Model of Traffic Delays under Bus Signal Preemption: Theory and Application, Oxford, UK, Transportation Research, April 1981.

KINZEL, C.D. et al. City of Concord. Evaluation of Bus Priority Signal System, Walnut Creek, California, TJKM Transport Consultants, 1978.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS, Traitement de la saturation. Approche théorique et applications pratiques, France, 1982.

PROCEEDINGS OF THE 4TH IFAC/IFIP/IFORS CONFERENCE, Control in Transportation Systems, Baden-Baden, avril 1983.

RADWAN, A.E. Bus Priority Analytical Model of Bus Preemption Signal System: A Macroscopic Approach, Virginia Polytechnic Institute & State University Transportation Quarterly, January 1982.

RICHARDSON, A.J. OGDEN, K.W. Evaluation of Active Bus-priority Signals, Transportation Research Record # 718, 1979.

SNC-DELUC CO-ENTREPRISE, Étude de faisabilité d'un système de gestion de la circulation pour la région de Montréal, Études et recherches en transport, Montréal, Transports Québec, 1988, 82 p.

WATTLEWORTH, J.A. COURAGE, K.G. WALACE, C.E. Evaluation of Bus-priority Strategies on North-west Seventh Avenue in Miami, Transportation Research Record # 626, 1977.

WOOD, K. Bus-actuated Signal Control at Isolated Intersections. A simulation model, Crowthorne, Berkshire, England, Transport and Road Research Laboratory, 1978.

