

# Interopérabilité des systèmes de planification d'une société de transport collectif en situation d'urgence

MARLON YAIR FIGUEROA, BRUNO AGARD, ROBERT PELLERIN, NATHALIE PERRIER

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET GÉNIE INDUSTRIEL, ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL  
C.P. 6079, Succursale Centre-ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3A7  
{marlon.figueroa, bruno.agard, robert.pellerin, nathalie.perrier}@polymtl.ca

**Résumé** - Le type d'urgences qu'un réseau de transport en commun peut subir est varié, de même que les conséquences sur la compagnie et la clientèle. Bien que les urgences ne se planifient pas, la minimisation des effets négatifs sur le réseau et la clientèle constitue une priorité. Dans ce contexte, les systèmes d'information de la société qui gère le service de transport en commun sont essentiels. Ils permettent d'obtenir une connaissance approfondie du fonctionnement du réseau et peuvent également contribuer à résoudre des situations inattendues. Cependant, la communication entre les systèmes d'information d'une entreprise, de même qu'avec les systèmes informationnels de compagnies partenaires, ne se produit pas toujours d'une manière fluide et efficiente. Le but de cet article consiste à évaluer l'interopérabilité des systèmes informationnels d'une société de transport en commun en tenant compte du rôle de ces systèmes dans un contexte de situations d'urgence.

**Abstract** - The type of emergencies that affects a public transit network is broad, as well as the type of consequences for the company and its clients. Even though emergencies cannot be planned, the minimization of the negatives effects is a priority. In this context, the public transit company's information systems are essential. They make possible to gather a deep knowledge about the running of the network and can also contribute in the solution of unexpected situations. However, the communication between the company's information systems, and even more, the communication with others partners' information systems, is not always performed in a seamless fashion. The objective of this paper is to evaluate the interoperability of a public transit company's information system by taking into account the roles of these systems under an emergency context.

**Mots clés** - transport en commun, interventions d'urgence, systèmes d'information, interopérabilité.

**Keywords** - public transportation, emergency response, information systems, interoperability.

## 1 INTRODUCTION

En situation d'urgence, les services publics doivent réagir rapidement afin de maintenir le service aux usagers. Toutefois, la capacité de réagir efficacement est reliée à l'utilisation des systèmes de planification en place pour les opérations régulières. Cependant, ces systèmes sont créés pour opérer sous un régime permanent et peu enclins à gérer les perturbations. En situation d'urgence, des problèmes de robustesse, de cohérence temporelle des décisions et d'interopérabilité apparaissent.

L'objectif de cet article consiste à étudier les problèmes d'interopérabilité auxquels une agence de transport en commun doit faire face dans un contexte d'opération régulière et de situation d'urgence. Une étude de cas est réalisée avec une société de transport en commun de la région de Montréal.

Le plan de l'article s'établit comme suit. La section 2 présente une revue de la littérature sur les systèmes de prise d'information, les systèmes de planification et les problèmes reliés à l'interopérabilité de ces systèmes. La section 3 décrit la problématique étudiée. Une méthodologie pour évaluer l'interopérabilité des systèmes informationnels d'une agence de transport en commun est proposée à la section 4. Les sections 5 et 6 présentent respectivement l'analyse de l'interopérabilité interne et externe de la société étudiée. La dernière section présente des perspectives de recherche future.

## 2 REVUE DE LITTÉRATURE

### 2.1 Systèmes de prise d'information

Les systèmes de transport intelligent (STI) sont capables de recueillir une quantité importante d'information sur les opérations quotidiennes. Ces données permettent d'augmenter

la réactivité des systèmes de planification. Ces systèmes représentent donc un atout inestimable pour la planification réactive de la logistique des interventions d'urgence. Dans cette section, nous passons en revue cinq systèmes de prise d'information : les systèmes de localisation automatique de véhicules (Automated Vehicle Location, AVL), les systèmes de comptage automatique de passagers (Automatic Passenger Counting, APC), les systèmes de collecte de passages basés sur les cartes à puce (CAP) et les systèmes d'identification par radiofréquences (Radio Frequency Identification, RFID). Ces systèmes sont souvent utilisés conjointement avec les systèmes de positionnement mondial (Global Positioning system, GPS) afin d'afficher l'information à caractère spatial.

#### 2.1.1 Systèmes de positionnement mondial

Gang et al. (2006) décrivent un STI dont l'information obtenue à partir du GPS est complétée avec des données sur les véhicules et les feux de circulation. Le système utilise le réseau de communication sans fil GPRS (General Packet Radio Service) pour transmettre les données au centre de contrôle de la flotte. Rubio Fernández (2007) souligne l'importance de la localisation de véhicules par satellite afin d'améliorer le service de transport en commun et la qualité du service. Ramakrishna et al. (2008) utilisent les données GPS et les données collectées manuellement sur le nombre de passagers des autobus pour prédire le temps de voyage dans une route déterminée. Vanajakshi et al. (2009) proposent une technique de filtrage Kalman sur des données GPS afin de prédire en temps réel l'arrivée des autobus aux arrêts.

#### 2.1.2 Localisation automatique de véhicules

Les systèmes AVL les plus connus sont basés sur la technologie GPS ou RFID. Les systèmes AVL basés sur les

GPS localisent le véhicule à partir de l'antenne de l'unité GPS, embarquée dans l'autobus, qui reçoit le signal émis par des satellites. La localisation du véhicule est envoyée au centre de contrôle, généralement via communication sans fil (Global System for Mobile, GSM, ou GPRS). Dans le cas des systèmes utilisant la technologie RFID, les transpondeurs embarqués dans les véhicules sont lus par les interrogateurs situés dans des endroits fixes (terminus, arrêts). L'information recueillie par les interrogateurs est également envoyée au centre de contrôle par communication sans fil.

Les travaux sur les systèmes AVL dans le domaine du transport en commun peuvent être classés en deux grandes catégories : 1) les travaux associant les systèmes AVL à la priorisation des autobus aux feux de circulation ; 2) les travaux traitant des prévisions sur les temps d'arrivée des autobus aux arrêts. Dans la première catégorie, les principaux objectifs incluent la minimisation des temps de voyage des autobus, l'amélioration de la fiabilité des horaires planifiés et la diminution des effets négatifs pour l'ensemble du trafic non priorisé (le trafic privé). Ainsi, la priorisation du transport en commun aux feux de circulation est testée avec des systèmes AVL et GPS installés directement dans les autobus. Par exemple, Liao et Davis (2007) proposent un système de priorisation qui tient compte de la vitesse de l'autobus, du nombre de passagers et de l'écart entre l'heure de passage réel de l'autobus et l'heure planifiée. Liu et al. (2007a) développent un modèle afin de déterminer le moment pour prioriser un autobus s'approchant d'un feu de circulation. Hounsell et al. (2007, 2008) étudient les conséquences de l'implantation de la technologie AVL et analysent les problèmes causés par des erreurs de médiations des GPS dans la priorisation du transport en commun aux feux de circulation. Ma et Yang (2008) conçoivent un système de priorisation basé sur les technologies AVL et GPS et des communications sans fil. Dans la seconde catégorie, plusieurs auteurs (Chen et al., 2005; Jeong et Rilett, 2005; Pangilinan et al., 2008) se sont penchés sur la prévision du temps d'arrivée des autobus aux arrêts afin de rendre le service plus fiable pour les usagers et leur permettre de prendre des décisions de déplacement basées sur l'information en temps réel. Robinson (2008) utilise des données AVL pour prédire la localisation des arrêts d'autobus. Enfin, D'Acerno et al. (2009) utilisent la technologie AVL afin d'identifier les conditions de congestion routière dans des réseaux urbains où circulent les autobus et le trafic privé.

### 2.1.3 Comptage automatique de passagers

Les systèmes APC sont composés de détecteurs de mouvement, placés en dessus des portes des véhicules, qui enregistrent le nombre de personnes passant par la zone de détection et la direction de passage (montée ou descente). Chen et al. (2004) développent un modèle qui intègre les données APC pour prédire les temps d'arrivée des autobus aux arrêts. Furth et al. (2005) identifient les barrières à l'utilisation des systèmes APC. Hammerle et al. (2005) utilisent des données APC et AVL pour analyser l'adhérence aux horaires, la fiabilité du service et la régularité de fréquences. Milkovits (2008) met au point des techniques de traitement des données APC et AVL et développe un modèle pour calculer les temps d'attente des autobus aux arrêts.

### 2.1.4 Cartes à puce

Dans le domaine du transport public, la technologie des CAP est utilisée pour les systèmes de paiement et d'accès aux réseaux de transport. En plus de stocker l'information, les CAP permettent de réaliser des opérations internes, comme le cryptage et l'authentification (SmartCardAlliance, 2010).

Cheung (2001) et Blythe (2004) analysent les bénéfices et les impacts des systèmes de paiement basés sur les CAP. Yoh et al. (2006) étudient l'interopérabilité des systèmes de paiement CAP entre différentes agences. Iseki et al. (2007) montrent que le niveau d'adoption de ces systèmes dépend des ressources de financement des agences et de leur niveau de sophistication technologique. Les données produites peuvent être utilisées pour construire la matrice origine-destination et déterminer le comportement des usagers. Ainsi, Morency et al. (2007) étudient le comportement de la clientèle d'un réseau. De plus, Farzin (2008) développe une matrice origine-destination à partir des données GPS afin de déterminer la demande des passagers se déplaçant dans le réseau. Enfin, Park et al. (2008) identifient les habitudes de la clientèle d'un réseau de transport en commun à partir de l'information obtenue avec les CAP.

### 2.1.5 Identification par radiofréquences

Peu de travaux ont été effectués afin de relier les RFID aux systèmes de repérage des véhicules en transport en commun. Menezes et al. (2006) étudient les défis auxquels ce type de technologie doit faire face dans un environnement où les congestions sont importantes. Les auteurs traitent aussi le problème de capture, stockage et récupération des données produites à partir des RFID. Sriborrix et al. (2008) conçoivent un réseau de repérage d'une flotte d'autobus basé sur la technologie RFID.

## 2.2 Systèmes de planification

Les systèmes de planification permettent de recueillir, traiter, stocker et distribuer l'information afin d'appuyer le processus de prise de décisions d'une organisation (Laudon et Laudon, 2009). Cette section présente les travaux traitant de l'utilisation de deux types de systèmes de planification dans le domaine du transport en commun : les systèmes de planification d'horaires et les systèmes d'information géographique.

### 2.2.1 Systèmes de planification d'horaires

Les systèmes de planification d'horaires génèrent des solutions aux problèmes reliés à l'exploitation d'un réseau de transport. Desaulniers (2002) décompose le problème de planification d'horaires en cinq étapes :

- (1) l'établissement des routes;
- (2) la détermination des fréquences de passage;
- (3) l'élaboration des calendriers;
- (4) la planification des horaires d'autobus;
- (5) la planification des quarts de travail des chauffeurs.

Barabino (2009) développe une heuristique en deux étapes pour l'établissement des routes. La première étape caractérise les routes et la seconde calcule les fréquences de passage. Kim et al. (2009) proposent un modèle pour contrôler les fréquences de passage. Lors de l'élaboration des calendriers, l'objectif est de minimiser le temps de correspondance des passagers. Liu et al. (2007b) formulent et résolvent le problème de l'élaboration des calendriers comme un problème de sac à dos (knapsack problem). Yang et Luo (2009) développent et résolvent un modèle linéaire en nombres entiers pour l'élaboration des calendriers. YongFeng et al. (2009) proposent de minimiser à la fois les coûts d'opération, les temps d'attente des passagers et le nombre d'autobus. Hadjar et al. (2006) étudient un problème d'horaires d'autobus avec des garages multiples et proposent une méthode de séparation et d'évaluation progressive (branch-and-bound) combinée à une méthode de génération de colonnes pour résoudre le problème. Enfin, Rekić et al. (2008) proposent une stratégie de séparation et d'évaluation locale pour la planification des quarts de travail des chauffeurs.

L'interdépendance entre les problèmes d'établissement des routes, de détermination des fréquences de passage, d'élaboration des calendriers, de planification des horaires d'autobus et de planification des quarts de travail rend compliqués. Séparer ces composantes peut simplifier l'analyse, mais cela risque de produire un résultat sous-optimal. Dans cette optique, certains auteurs ont cherché à résoudre simultanément plusieurs de ces composantes. Par exemple, Elhallaoui et al. (2005) proposent de résoudre simultanément les problèmes de planification d'horaires d'autobus et de création des quarts de travail à l'aide de la génération de colonnes. De même, Liu et Shen (2007) développent une méthode de recherche avec tabous pour le problème combiné de l'élaboration des calendriers, planification d'horaires d'autobus et création des quarts de travail de chauffeurs.

### 2.2.2 Systèmes d'information géographique (SIG)

Les SIG utilisent des données à référence spatiale pour décrire la localisation géographique d'une entité réelle et des données à référence non spatiale pour décrire, qualitativement ou quantitativement, les attributs de ces entités (sens d'une rue, type d'arbres dans une forêt, population d'un endroit). Sutton (2004) présente une synthèse des applications des SIG dans le domaine du transit. L'auteur classe les applications des SIG en transport en cinq catégories : planification, technologies de l'information (TI), exploitation, gestion et service à la clientèle. Jusqu'en 2004, la majorité des travaux dans ce domaine traitent des activités reliées à la planification et aux TI (Tableau 1).

**Tableau 1. Travaux sur les SIG-transit (Sutton, 2004)**

Catégorie	Activités	Travaux
Planification	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planification de routes</li> <li>Comptage automatique de passagers</li> <li>Rapports d'utilisation du service</li> <li>Analyse démographique</li> <li>Outils de modélisation</li> </ul>	59
TI	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matériels</li> <li>Logiciels</li> <li>Outils personnalisés</li> <li>Standardisation</li> </ul>	40
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maintenance des véhicules</li> <li>Localisation de véhicules</li> <li>Tracés et horaires</li> <li>Information en temps réel du trafic</li> </ul>	13
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réponse à des incidents de sécurité et de sûreté</li> <li>Performance du système et rapports</li> <li>Gestion des actifs</li> <li>Finances</li> </ul>	12
Service à la clientèle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcul des itinéraires</li> <li>Relations avec la clientèle</li> <li>Information en temps réel à l'intention des usagers</li> <li>Information publique</li> <li>Commercialisation</li> </ul>	5

Depuis 2005, les travaux portent sur les applications des SIG en transport en commun. Dans la catégorie *Planification*, les travaux récents traitent surtout des tâches de planification. Par exemple, Njeri Kamatu et al. (2007) utilisent les SIG pour développer une base de données et un modèle cartographique pour analyser l'accessibilité d'un système de transport. Golani (2007) utilise des bases de données jumelées à de l'information prise par les systèmes APC et AVL afin d'analyser les problèmes reliés à la planification de réseaux de transport en commun. Li et al. (2008) analysent les impacts du réaménagement d'un système de transport en commun à l'aide des outils analytiques des SIG. Lao et Liu (2009) évaluent la performance des lignes d'autobus en utilisant les capacités d'analyse des SIG. Dans la catégorie *TI*, les travaux récents portent sur les logiciels. Ainsi, Yu et al. (2006) développent un

prototype de visualisation basé sur les SIG pour cartographier les horaires des lignes d'autobus et y intégrer des données provenant des systèmes APC et AVL. Zhu et al. (2006) développent un système de guidage en temps réel pour les usagers en intégrant les SIG et la technologie GSM. Quianshen et al. (2008) étudient l'interaction entre divers SIG et développent un modèle pour faciliter le transfert des données et éliminer leur duplication. Dans la catégorie *Exploitation*, Kane et al. (2008) proposent un système AVL pour le transport en commun. Ce modèle s'inspire des couches thématiques des SIG. L'architecture proposée repose sur un système GSM. Dans la catégorie *Gestion*, Hu et Lu (2007) conçoivent un système d'aide à la décision basé sur les SIG pour assurer la sécurité du transport public. Enfin, dans la catégorie *Service à la clientèle*, Cotfas et al. (2009) développent des algorithmes génétiques, pour le calcul des itinéraires de transport en commun, implémentés sur la base des SIG.

### 2.3 Interopérabilité

Chen (2009) identifie les systèmes interopérables comme habiles à :

- communiquer et échanger de l'information;
- utiliser l'information échangée;
- accéder aux fonctionnalités d'un autre système.

Les structures d'interopérabilité d'entreprise permettent d'organiser et de représenter d'une manière structurée les concepts, les problèmes et les connaissances reliés à l'interopérabilité (Chen, 2009). Nous décrivons ici deux modèles permettant d'établir les structures d'interopérabilité d'entreprise : les structures IDEAS et ATHENA.

#### 2.3.1 Structure d'interopérabilité IDEAS

La structure IDEAS (Interoperability Development for Enterprise Applications and Software) est issue d'un projet soutenu par la Commission européenne. IDEAS (2002, 2003) comprend trois niveaux d'interopérabilité :

- (1) les affaires : habilité organisationnelle et opérationnelle de l'entreprise afin d'interagir avec d'autres entreprises;
- (2) les connaissances : compatibilité des habilités, compétences et connaissances d'une entreprise avec celles d'autres entreprises;
- (3) les technologies de l'information et des communications (TIC) : habilité des TIC de l'entreprise de coopérer avec celles d'autres entreprises.

Les deux premiers niveaux sont associés au modèle d'entreprise, c'est-à-dire à la description de la structure et de l'organisation de l'entreprise. Le Tableau 2 présente les principaux éléments de la structure d'interopérabilité IDEAS.

**Tableau 2. Structure d'interopérabilité IDEAS**

	Structure	Sémantique	Attributs de qualité (optionnels)
Modèle d'entreprise	Affaires	Représentation de la signification réelle des concepts	- Sécurité
	Connaissances		- Extensibilité
Plateforme de l'architecture (TIC)	Application		- Portabilité
	Données		- Performance
	Communication		- Disponibilité
			- Évolution

#### 2.3.2 Structure d'interopérabilité ATHENA

Le projet ATHENA-IP (Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Application-Integrated Project), construit à partir des résultats du projet IDEAS, a pour but de pallier au manque d'interopérabilité entre les systèmes informationnels des petites et moyennes entreprises (ATHENA, 2005, 2007, 2008). La structure ATHENA comprend trois niveaux d'intégration :

- (1) l'intégration conceptuelle : concepts, métamodèles, langages, modèles d'interopérabilité;
- (2) l'intégration technique : adoption et création d'outils informatiques et de logiciels soutenant la mise au point de systèmes interopérables;
- (3) l'intégration de l'application : principes et fondements pour surmonter les problèmes d'interopérabilité.

Au niveau de l'intégration de l'application, une méthodologie est définie pour développer des projets d'application de la structure d'interopérabilité ATHENA aux petites et moyennes entreprises. La méthodologie comprend huit étapes :

1. le modèle de maturité d'interopérabilité d'entreprise (Enterprise Interoperability Maturity Model, EIMM) : identifie les défis d'interopérabilité à l'interne;
2. la structure d'interopérabilité d'affaires (Business Interoperability Framework, BIF) : identifie les défis d'interopérabilité à l'externe;
3. l'analyse de l'interopérabilité : établit les besoins d'affaires et identifie les problèmes d'interopérabilité (notamment la déconnexion des systèmes);
4. la cartographie entre les besoins et les solutions (une solution est une structure d'interopérabilité qui conjugue concepts, connaissances et problèmes) : à l'aide d'une base de connaissances des solutions génériques en interopérabilité, une cartographie est établie entre chaque besoin détecté à l'étape 3 et les solutions pertinentes;
5. la définition des tests à effectuer pour obtenir des solutions spécifiques;
6. la mise en œuvre des solutions spécifiques;
7. les tests à effectuer;
8. la méthodologie pour évaluer les impacts des solutions spécifiques.

**Tableau 3. Domaines d'inquiétude du EIMM**

Domaine d'inquiétude	Description
Stratégie d'affaires et processus	Amélioration des processus collaboratifs des départements à l'intérieur de l'organisation.
Organisation et compétences	Identification des critères d'interopérabilité pour la définition de la structure organisationnelle et des compétences requises du personnel.
Produits et services	Identification de nouveaux produits et services électroniques.
Systèmes et technologie	Recherche et évolution des systèmes d'entreprise afin d'implanter de nouvelles technologies interopérables.
Environnement légal, sécurité et confiance	Identification des besoins légaux, de sécurité et de confiance reliés à la collaboration interne.
Modélisation d'entreprise	Construction, application et amélioration des modèles d'entreprise.

Dans cet article, nous nous intéressons aux deux premières étapes : le modèle de maturité d'entreprise EIMM et la structure d'interopérabilité d'affaires BIF.

Le modèle EIMM comprend trois étapes :

1. l'identification des domaines d'inquiétude où le niveau de maturité d'interopérabilité doit être mesuré (Tableau 3);
2. l'évaluation du niveau de maturité de chaque domaine d'inquiétude issu de l'étape 1;
3. l'identification des unités ou départements de l'organisation où l'interopérabilité doit être évaluée.

La deuxième étape du modèle EIMM détermine le niveau de maturité pour chaque domaine d'inquiétude par la révision d'indicateurs spécifiques. Aussi, cinq niveaux de maturité d'interopérabilité d'entreprise sont définis (Tableau 4).

La structure d'interopérabilité d'affaires BIF comprend quatre catégories : gestion des relations externes, employés culture, processus d'affaires collaboratifs et systèmes d'information

(Tableau 5). Chacune est subdivisée en critères (Tableau 6) afin d'identifier les décisions des entreprises interopérables.

**Tableau 4. Niveaux de maturité d'interopérabilité**

	Niveau de maturité	Description
1	Effectué	La collaboration avec d'autres organisations est effectuée d'une manière chaotique et non planifiée.
2	Modelé	La collaboration est réalisée d'une manière similaire à chaque fois et la technique pour ce faire s'avère applicable.
3	Intégré	La façon de collaborer est documentée formellement, communiquée et régulièrement utilisée.
4	Interopérable	L'organisation est capable de bien gérer des processus interopérables et de s'adapter aux changements de ses partenaires.
5	Optimisé	L'organisation est capable de réagir et de s'adapter aux changements de l'industrie d'une manière agile et flexible.

**Tableau 5. Catégories de la structure BIF**

Catégorie	Perspective	Description
Gestion des relations externes	Comment fait-on la gestion et le contrôle des relations d'affaires?	Les organisations interopérables gèrent et surveillent leurs relations d'affaires.
Employés et culture	Comment se comporte-t-on vers les partenaires d'affaires?	Les organisations interopérables promeuvent des relations avec leurs partenaires d'affaires au niveau individuel, d'équipe de travail et organisationnel.
Processus d'affaires collaboratifs	Comment collabore-t-on avec les partenaires d'affaires?	Les organisations interopérables peuvent établir et mener des collaborations électroniques de manière rapide et peu coûteuse.
Systèmes d'information	Comment se connecte-t-on avec les partenaires d'affaires?	Les systèmes d'information et la communication interopérables peuvent être liés avec d'autres de manière rapide et peu coûteuse.

**Tableau 6. Critères de la structure BIF**

	Perspective	Description
Gestion des relations externes	Modèle de coopération	Contient les règles avec lesquelles une organisation s'engage avec ses partenaires, les personnes impliquées dans les organisations qui collaborent, leurs rôles et leurs interactions.
	Cibles de la coopération	Reliées à l'aspect économique de la relation collaborative d'une organisation avec ses partenaires.
	Gestion des processus de coopération avec les partenaires	Incluent les différentes étapes des relations, depuis leur début jusqu'au contrôle et monitoring, le management des risques et des conflits.
Employés et culture	Confiance	Comprend l'aspect individuel et informel des relations entre le personnel des compagnies qui collaborent.
	Visibilité	Comprend l'aspect organisationnel et formel des relations entre des compagnies qui collaborent.
Processus d'affaires collaboratifs	Processus publics	Établit les rôles, le déroulement des activités et les interfaces de la communication pour la réalisation de la collaboration avec les partenaires.
	Sémantique d'affaires	Comprend l'établissement d'un vocabulaire d'affaires commun entre les partenaires.
Systèmes d'information	Type d'interaction	Établit le type d'interaction électronique utilisé dans les relations entre les organisations (humain à humain, humain à machine, machine à machine).
	Plateforme de connectivité et collaboration	Établit le niveau d'extensibilité des relations électroniques (un à un, un à plusieurs, plusieurs à plusieurs).
	Sécurité et confidentialité	Comprend des politiques de sécurité et de confidentialité établies afin de mettre en œuvre des transactions électroniques entre les diverses compagnies.

La structure BIF considère également trois aspects du cycle de vie de l'interopérabilité :

- (1) l'approche : manière dont l'organisation développe des méthodes pour définir et réaliser des relations supportées par les TI;
- (2) le déploiement : manière dont l'organisation exécute l'approche;

(3) la révision et le conseil : manière dont l'organisation évalue et révisé l'approche et le déploiement. Ces étapes permettent d'identifier les différents niveaux d'interopérabilité d'affaires (Tableau 7).

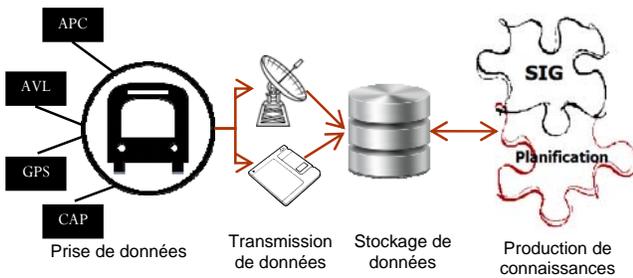
**Tableau 7. Niveaux d'interopérabilité d'affaires**

Interopérabilité d'affaires	Description
1 Aucun	Les relations externes ne sont pas considérées. L'interaction avec des partenaires n'est pas planifiée.
2 Minimal	Pas de prévisions pour l'interopérabilité. Chaque relation externe est identifiée de façon individuelle.
3 Modéré	L'importance de l'interopérabilité est comprise. Des mesures pour améliorer l'interopérabilité sont déjà entreprises, mais il y a toujours de la place pour améliorer.
4 Qualifié	Des relations externes sont identifiées afin d'améliorer l'interopérabilité d'affaires. Il ne reste que quelques considérations pour obtenir une interopérabilité complète.
5 Complètement interopérable	Niveau d'interopérabilité d'affaires maximal. Des relations externes peuvent être établies sans coûts marginaux ou ces coûts sont négligeables.

**3 PROBLEMATIQUE**

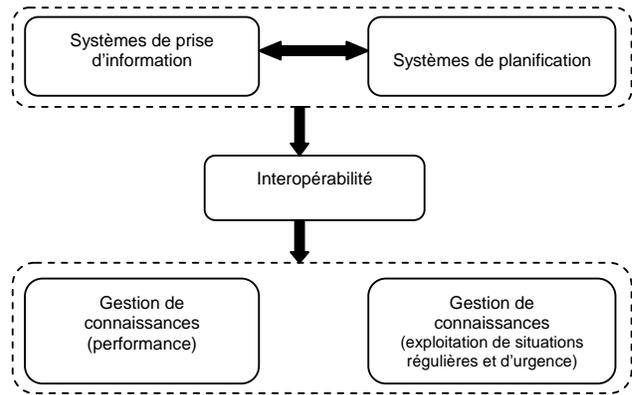
Le processus de planification des opérations d'une agence de transport en commun (Figure 1) débute avec la cueillette des informations produites par les systèmes de prise d'information (APC, AVL, GPS, CAP). Les données enregistrées sont transmises aux centres de gestion par communications sans fil ou en téléchargeant périodiquement les enregistrements sur les bases de données organisationnelles. Les informations stockées dans les bases de données sont ensuite utilisées par les systèmes de planification afin de produire toute une série de connaissances reliées à la performance et à l'exploitation de la flotte. Ces connaissances comprennent :

- l'information en temps réel à l'intention des usagers;
- la priorisation d'autobus aux feux de circulation;
- la gestion de la demande;
- les temps d'attente aux arrêts;
- la prévision des temps d'arrivée;
- l'établissement des itinéraires;
- le comportement des usagers;
- l'adhérence aux horaires planifiés.



**Figure 1. Planification des opérations**

L'information recueillie par les systèmes de prise d'information peut également être utile pour la gestion des situations d'urgence. Par exemple, en faisant le suivi en temps réel de la flotte et en transférant les informations du centre de contrôle au personnel sur le terrain. Cependant, les problèmes d'interopérabilité peuvent nuire à une utilisation fluide et efficace des informations recueillies par les systèmes de prise d'information. Ces problèmes sont liés à la capacité de l'organisation à travailler de manière coordonnée, tant à l'interne qu'à l'externe avec ses partenaires. La Figure 2 montre un schéma de la problématique étudiée.



**Figure 2. Schéma de la problématique étudiée**

**4 ÉTUDE DE CAS**

Cette section présente la méthodologie proposée pour analyser l'interopérabilité d'une agence de transport en commun. Aussi, un partenariat a été établi avec la société publique responsable de l'exploitation du réseau de transport collectif de la rive sud de Montréal, le Réseau de transport de Longueuil (RTL). La structure ATHENA est utilisée pour évaluer l'interopérabilité des systèmes informationnels du RTL. Cette structure comporte huit étapes (section 2.3.2). Dans cet article, nous nous intéressons aux deux premières étapes : l'analyse de l'interopérabilité interne et externe de la société.

**4.1 Interopérabilité interne**

Le modèle de maturité d'interopérabilité d'entreprise (EIMM) permet d'identifier les habiletés d'interopérabilité internes. Il comprend trois composantes (section 2.3.2) : les domaines d'inquiétude, les niveaux de maturité et les unités de l'organisation où l'interopérabilité doit être évaluée. Le domaine d'inquiétude *Produits et services* n'est pas pris en compte ici étant donné que le RTL n'offre pas de nouveaux produits ou services électroniques. L'interopérabilité est évaluée au sein de deux départements au RTL : la Direction de planification, développement et ingénierie (Direction Planification) – qui gère la planification des horaires et des trajets d'autobus tout en réagissant rapidement aux situations d'urgence afin de réduire les impacts sur la clientèle – et la Direction Exploitation – qui traite les incidents d'une durée inférieure à trois semaines. Les incidents mineurs incluent les pannes d'autobus, l'absentéisme et les petites congestions. Les incidents majeurs comprennent les accidents routiers, les fermetures d'artères non prévues et les agressions. Pour les situations d'urgence plus longues, c'est la Direction Planification qui doit intervenir. De plus, le RTL utilise trois systèmes de prise d'information : les systèmes GPS, APC et les CAP. Les informations recueillies à partir des systèmes GPS et APC sont stockées dans la base de données du RTL. Cependant, c'est la Société de transport de Montréal (STM) qui gère le système CAP. Le Tableau 8 présente les systèmes d'information supportant les opérations quotidiennes du RTL.

**Tableau 8. Systèmes d'information du RTL**

Nom du système	Fonction
MADITUC	Calcul d'itinéraires
MADPREP	Service à la clientèle
STAD	Base de données de données GPS et APC
BusStop	Comptage de passagers
Géo TC (TA)	Géomatique pour le transport en commun (adapté)
HASTUS SAR (ACCES)	Optimisation d'horaires et d'assignation pour le transport en commun (adapté)
MAESTRO	Management (R.H., paie, budget, comptes à payer)
SAGE – SIGA	Entretien et Inventaires

#### 4.2 Interopérabilité externe

La structure d'interopérabilité d'affaires BIF est appliquée pour analyser l'interopérabilité externe de la société de transport. Cette structure correspond à la deuxième étape de la méthodologie ATHENA (section 2.3.2). La structure BIF permet de déterminer les défis d'interopérabilité de l'organisation et d'analyser la coopération avec les partenaires. Les principaux partenaires du RTL peuvent être classés en trois groupes selon leur portée géographique :

- municipal : villes de l'agglomération de Longueuil (Longueuil, Brossard, Boucherville, Saint-Bruno de Montarville et Saint-Hubert) et ville de Montréal;
- régional : Agence métropolitaine de transport, la Communauté métropolitaine de Montréal et d'autres autorités organisatrices de transport. Par exemple, STM et Société de transport de Laval;
- gouvernemental : Ministère des transports du Québec et Ministère des affaires municipales, du sport et des loisirs.

#### 5 ANALYSE DE L'INTEROPERABILITE INTERNE

Les niveaux de maturité sont évalués à partir des données récoltées auprès des gestionnaires du RTL. L'analyse de l'interopérabilité interne du RTL (Tableau 9) correspond ainsi à un couplage des informations obtenues et des niveaux de maturité d'interopérabilité du modèle EIMM.

**Tableau 9. Évaluation de l'interopérabilité interne**

Catégorie	Niveau de maturité d'interopérabilité	Énoncé de l'indicateur
Stratégie d'affaires et processus	Effectué	Définition de processus collaboratifs par quelques départements de l'organisation
Organisation et compétences	Effectué	Définition informelle des responsabilités qui concernent la définition, la maintenance et l'exécution des processus collaboratifs
Systèmes et technologie	Modelé	Identification et spécification de besoins d'interopérabilité pour les systèmes TIC de l'organisation
Environnement légal, sécurité et confiance	Intégré	Analyse et application de pratiques de prévention de risques de sécurité
Modélisations d'entreprise	Effectué	Utilisation isolée et individuelle de techniques de modélisation en appliquant un bas niveau de modélisation avec le propos d'illustrer (ex. MS Visio)

Les résultats de la catégorie *Systèmes et technologie* révèlent que les départements étudiés utilisent de façon intensive les données produites à partir des systèmes informationnels du RTL. Les données proviennent des systèmes embarqués dans la flotte d'autobus et servent à produire des indicateurs de gestion relatifs à l'exploitation du réseau de transport. Les indicateurs sont basés sur les temps de parcours, la ponctualité, l'achalandage et l'offre du service. Une autre source importante de données provient du système de service à la clientèle. Ces données sont à la base des processus de création et de modification des tracés. De plus, le RTL met en œuvre des politiques de sécurité et de confidentialité liées à l'accès et à la manipulation de ses systèmes informationnels. Par exemple, l'information reliée aux données des cartes à puce est filtrée par la STM avant de parvenir au RTL, respectant ainsi les besoins légaux de protection de l'information privée des usagers. Toutefois, l'analyse révèle que trois niveaux de maturité sur cinq correspondent au niveau le moins interopérable. Puisque le RTL est un organisme parapublic dont 60% du financement (en 2009) provient de l'État, la gestion des systèmes informationnels au RTL représente un soutien pour l'exploitation du réseau, non un avantage

concurrentiel. De plus, pour la catégorie *Organisation et compétences*, notons que la convention collective de travail des employés syndicalisés limite la marge de manœuvre.

#### 6 ANALYSE DE L'INTEROPERABILITE EXTERNE

Dans cette section, l'interopérabilité externe du RTL est analysée à l'aide de la structure BIF (section 2.3.2).

**Tableau 10. Évaluation de l'interopérabilité externe**

	Critère	Cycle de vie	Niveau	Énoncé de l'indicateur
Gestion des relations externes	Modèle de coopération	Approche	Minimal	La coopération n'est explicitement pas définie et ne s'établit qu'avec des partenaires bien connus
		Déploiement	Minimal	Appliqué à quelques partenariats
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué
	Cibles de la coopération	Approche	Qualifié	Les cibles de la coopération sont individuellement définies, puis partagées
		Déploiement	Minimal	Appliqué à quelques partenariats
		Évaluation et révision	Modéré	Évaluation occasionnelle des variables de succès. Adaptation du modèle de coopération
	Gestion de la coopération - processus	Approche	Minimal	Aucun processus formels de coopération. Celle-ci est établie individuellement avec chaque partenaire basée sur des expériences antérieures
		Déploiement	Aucun	Pas encore appliqué
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué
	Gestion de la coopération - rôles	Approche	Qualifié	Quelques responsabilités liées aux partenaires externes sont définies
		Déploiement	Minimal	Appliqué à quelques partenariats
		Évaluation et révision	Modéré	Évaluation occasionnelle des variables de succès. Adaptation de la gestion de la coopération
Employés et culture	Confiance	Approche	Minimal	L'importance de la confiance mutuelle est reconnue
		Déploiement	Qualifié	Appliqué à la majorité des partenariats
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué
	Visibilité	Approche	Modéré	La visibilité des informations les plus critiques des partenaires externes est fournie
		Déploiement	Minimal	Appliqué à quelques partenariats
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué
Processus d'affaires collaboratifs	Processus publics	Approche	Aucun	L'interaction interorganisationnelle est faite sur mesure à chaque occasion
		Déploiement	Minimal	Appliqué à quelques partenariats
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué
	Sémantique d'affaires - documents d'affaires	Approche	Aucun	Utilisation de sémantiques individuelles
		Déploiement	Aucun	Pas encore appliqué
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué
Sémantique d'affaires - contexte de l'information	Approche	Aucun	Utilisation de sémantiques individuelles	
	Déploiement	Aucun	Pas encore appliqué	
	Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué	
Systèmes d'information	Type d'interaction	Approche	Aucun	Interaction du type humain à humain
		Déploiement	Aucun	Pas encore appliqué
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué
	Plateforme de connectivité et collaboration	Approche	Aucun	Aucune considération architecturale
		Déploiement	Aucun	Pas encore appliqué
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué
	Sécurité et confidentialité	Approche	Modéré	Des problèmes de sécurité et confidentialité sont définis individuellement avec chaque partenaire
		Déploiement	Minimal	Appliqué à quelques partenariats
		Évaluation et révision	Aucun	Pas évalué

Cette structure comprend quatre catégories subdivisée en critères évalués à partir des informations recueillies auprès des gestionnaires du RTL. Pour chaque critère, l'évaluation est effectuée pour les trois aspects du cycle de vie de l'interopérabilité (approche, déploiement, évaluation et révision). L'analyse de l'interopérabilité externe consiste également à coupler les informations recueillies aux énoncés de la structure BIF qui décrivent le mieux l'état d'interopérabilité externe au RTL (Tableau 10).

Pour interpréter ces résultats, il faut tenir compte du fait que le travail de la Direction Planification est centré sur les interactions internes. L'interaction avec les partenaires est nécessairement limitée et répétitive. Pour la Direction Exploitation, dont la mission est de traiter les situations d'urgence en temps réel sur le terrain, le partage d'information avec les partenaires est crucial. La gestion des situations d'urgence se fait par communication via radio ou téléphone cellulaire. Aucune donnée électronique sur les situations d'urgence n'est disponible en temps réel. La flotte d'autobus est équipée de récepteurs GPS, mais l'information sur la localisation des autobus doit d'abord être téléchargée dans les garages du RTL. Des processus formels publics et des modèles de coopération sont souhaitables. Ils permettraient des investissements profitables sur les technologies.

## 7 CONCLUSION

Dans cet article, la méthodologie ATHENA est utilisée pour évaluer l'interopérabilité des systèmes d'information d'une agence de transport en commun. Une étude de cas est réalisée au Réseau de transport de Longueuil (RTL), Canada. La principale limite de cette étude réside dans le fait que la structure d'interopérabilité d'affaires ATHENA est, en grande partie, dédiée à l'analyse des TIC. Or, le RTL est une entreprise du secteur public, sans concurrence directe, dont le travail ne se centre pas sur l'exploitation des TIC tant à l'interne qu'à l'externe. Dans ce contexte, l'application d'une structure d'interopérabilité d'affaires, telle ATHENA, demeure donc limitée aux aspects organisationnels de la société de transport. Néanmoins, la suite du projet avec la société consiste à approfondir l'analyse de l'interopérabilité interne de ses systèmes informationnels à l'aide de la structure ATHENA. De plus, l'interopérabilité mérite d'être étudiée dans les secteurs où l'on reconnaît l'importance de baser les relations internes et externes de l'entreprise sur les TIC.

## 8 REMERCIEMENTS

Cet article a bénéficié du support financier du Conseil en sciences naturelles et en génie du Canada. Les auteurs remercient les gestionnaires du Réseau de transport de Longueuil de leur collaboration, plus particulièrement M. Alain Labelle et Mme Roxanne Mongeau.

## 9 REFERENCES

ATHENA, (2005) Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Application, Rapport technique No DA141, International Virtual Laboratory for Enterprise Interoperability (IVLEI).  
 ATHENA, (2007) ATHENA, No DA42, IVLEI.  
 ATHENA, (2008) ATHENA No DA63, IVLEI.  
 Barabino, B., (2009) Transit Bus Route Network Design : A model and its application in a real network. *15th Int. Conf. on Urban Transport and the Environment*, Bologne, Italie, 22-24 Juin.  
 Blythe, P.T., (2004) Improving public transport ticketing

through smart cards. *Proc. of the Institution of Civil Engineers : Municipal Engineer*, 157: 47-54.  
 Chen, D., (2009) Framework for enterprise interoperability. *8ème Congrès international de Génie Industriel - CIGI 2009*, Bagnères de Bigorre, France.  
 Chen, M., Liu, X., Xia, J., Chien, S.I., (2004) A dynamic bus-arrival time prediction model based on APC data. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19(5): 364-376.  
 Chen, M., Liu, X., Xia, J., (2005) Dynamic prediction method with schedule recovery impact for bus arrival time, *Transportation Research Record*, 1923: 208-217.  
 Cheung, F., (2001) Implementation of Nationwide public transport smart card in the Netherlands : Cost-benefit analysis, *Transportation Research Record*, 1971: 127-132.  
 Cotfas, L.A., Croicu, M.C., Cotfas, D., (2009) A collaborative GIS solution for public transport, *Informatica Economica*, 13(2): 50-58.  
 Desaulniers, G., (2002) Bus and driver scheduling in urban mass transit systems, *Travel and Transportation Workshop*, Minneapolis, Minnesota.  
 D'Acerno, L., Carteni, A., Montella, B., (2009) Estimation of urban traffic conditions using an Automatic Vehicle Location (AVL) System, *European Journal of Operational Research*, 196(2): 719-736.  
 Elhallaoui, I., Villeneuve, D., Soumis, F., Desaulniers, G., (2005) Dynamic aggregation of set-partitioning constraints in column generation, *Operations Research*, 53: 632-645.  
 Farzin, J.M., (2008) Constructing an automated bus origin-destination matrix using farecard and global positioning system data in Sao Paulo, Brazil, *Transportation Research Record*, 2072: 30-37.  
 Furth, P.G., Strathman, J.G., Hemily, B., (2005) Making automatic passenger counts mainstream accuracy, balancing algorithms, and data structures, *Transportation Research Record*, 1927: 207-216.  
 Gang, J., Yinjing, G., Wenhong, L., Bo, S., Jinping, S., Guoqiang, R., Hongyu, S., (2006) Design of an intelligent transportation system based on GPS and GPRS, *Int. Conf. on Wireless Mobile and Multimedia Networks*, Hangzhou, China, 6-9 Nov.  
 Golani, H., (2007) Use of archived bus location, dispatch, and ridership data for transit analysis, *Transportation Research Record*, 1992: 101-112.  
 Hadjar, A., Marcotte, O., Soumis, F., (2006) A branch-and-cut algorithm for the multiple depot vehicle scheduling problem, *Operations Research*, 54: 130-149.  
 Hammerle, M., Haynes, M., McNeil, S., (2005) Use of automatic vehicle location and passenger count data to evaluate bus operations - Experience of the Chicago transit authority, Illinois, *Transportation Research Record*, 1903: 27-34.  
 Hounsell, N.B., Shrestha, B.P., Head, J.R., Palmer, S., Bowen, T., (2008) The way ahead for London's bus priority at traffic signals, *IET Intelligent Transport Systems*, 2(3): 193-200.  
 Hounsell, N.B., Shrestha, B.P., McLeod, F.N., Palmer, S., Bowen, T., Head, J.R., (2007) Using global positioning system for bus priority in London : Traffic signals close to bus stops, *IET Intelligent Transport Systems*, 1(2): 131-137.  
 Hu, P., Lu, H., (2007) Decision support system design for urban public transit safety based on geography information system, *Int. Conf. on Transportation Engineering*, Chengdu, China, 22-24 Juil.

- IDEAS, (2002) Interoperability Development for Enterprise Application and Software, Rapport technique No D3.4, D3.5, D3.6, IVLEI.
- IDEAS, (2003) IDEAS project deliverables, public report, Rapport technique No WP1-WP7, IVLEI.
- Iseki, H., Yon, A.C., Taylor, B.D., (2007) Are smart cards the smart way to go? Examining their adoption by U.S. transit agencies, *Transportation Research Record*, 1992: 45-53.
- Jeong, R., Rilett, L.R., (2005) Prediction model of bus arrival time for real-time applications, *Transportation Research Record*, 1927: 195-204.
- Kane, L., Verma, B., Jain, S., (2008) Vehicle tracking in public transport domain and associated spatio-temporal query processing, *Computer Communications*, 31(12): 2862-2869.
- Kim, W., Son, B., Chung, J.-H., Kim, E., (2009) Development of real-time optimal bus scheduling and headway control models, *Transportation Research Record*, 2111: 33-41.
- Lao, Y., Liu, L., (2009) Performance evaluation of bus lines with data envelopment analysis and geographic information systems, *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(4): 247-255.
- Laudon, K., Laudon, J., (2009) Management Information Systems, 11<sup>e</sup> éd., Prentice Hall.
- Li, Q., Wang, Y.-J., Zhou, Y., (2008) Readjustment effect analysis of public bus network in Beijing, *J. of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 8(2): 27-33.
- Liao, C.-F., Davis, G.A., (2007) Simulation study of bus signal priority strategy : Taking advantage of global positioning system, automated vehicle location system, and wireless communications, *Transportation Research Record*, 2034: 82-91.
- Liu, Z., Shen, J., (2007) Synchronized optimization model of regional bus scheduling system based on multilevel programming. *Int. Conf. on Transportation Engineering* ., Chengdu, China, 22-24 Juil.
- Liu, H., Lin, W.-H., Tan, C.-W., (2007a) Operational strategy for advanced vehicle location system-based transit signal priority, *J. of Transportation Engineering*, 133(9): 513-522.
- Liu, Z., Shen, J., Wang, H., Yang, W., (2007b) Regional Bus Timetabling Model with Synchronization, *J. of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 7(2): 109-112.
- Ma, W., Yang, X., (2008) Design and evaluation of an adaptive bus signal priority system base on wireless sensor network, *IEEE Conf. on Intelligent Transportation Systems*, Beijing, China, 10-12 Déc.
- Menezes, B., Laddhad, K., Karthik, B., Dutta, K., (2006) Challenges in RFID Deployment - A case study in public Transportation, *4th Int. Conf. on E-Governance*, Delhi, India.
- Milkovits, M.N., (2008) Modeling the factors affecting bus stop dwell time use of automatic passenger counting, automatic fare counting, and automatic vehicle location data, *Transportation Research Record*, 2072: 125-130.
- Morency, C., Trépanier, M., Agard, B., (2007) Measuring transit use variability with smart-card data, *Transport Policy*, 14(3): 193-203.
- Njeri Kamatu, J., Hutchins, T.N., Wagner, A.G., Lambert, J.H., (2007) Mapping and accessibility analysis of Virginia transit systems, *IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium*, Charlottesville, VA, 27 Avril.
- Pangilinan, C., Wilson, N., Moore, A., (2008) Bus supervision deployment strategies and use of real-time automatic vehicle location for improved bus service reliability, *Transportation Research Record*, 2063: 28-33.
- Park, J.Y., Kim, D.-J., Lim, Y., (2008) Use of smart card data to define public transit use in Seoul, South Korea, *Transportation Research Record*, 2063: 3-9.
- Qiansheng, Z., Quanyi, H., Jiming, G., Renqiang, W., (2008) A model of spatial data interoperability on oracle spatial, *Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built Environment : Advanced Spatial Data Models and Analyses*, Guangzhou, China, 28 Juin.
- Ramakrishna, Y., Ramakrishna, P., Lakshmanan, V., Sivanandan, R., (2008) Use of GPS probe data and passenger data for prediction of bus transit travel time, *Transportation Land Use, Planning, and Air Quality Conference*, Orlando, FL, 9-11 Juil.
- Rekik, M., Cordeau, J.-F., Soumis, F., (2008) Solution approaches to large shift scheduling problems, *Operations Research*, 42(2): 229-258.
- Robinson, S.P., (2008) Determining london bus stop locations by means of an automatic vehicle location system, *Transportation Research Record*, 2064: 24-32.
- Rubio Fernandez, A., (2007) Satellite location and public transport bus network management, *Carreteras*, 4(156): 79-82.
- SmartCardAlliance, (2010) Alliance Activities : Publications : RF-Enabled Applications and Technology, Disponible : <http://www.smartcardalliance.org/pages/smart-cards-faq>. [Consulté le 1er février 2010].
- Sriborirux, W., Danklang, P., Indra-Payoong, N., (2008) The design of RFID sensor network for bus fleet monitoring, *8th Int. Conf. on Intelligent Transport System Telecommunications*, Phuket, Thailand, 22-24 Octobre.
- Sutton, J.C., (2004) Synthesis 55 : Geographic information systems applications in transit - A synthesis of transit practices, Rapport technique, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Vanajakshi, L., Subramanian, S.C., Sivanandan, R., (2009) Travel time prediction under heterogeneous traffic conditions using global positioning system data from buses, *IET Intelligent Transport Systems*, 3(1): 1-9.
- Yang, H., Luo, D., (2009) Optimal regional bus timetables using Improved Genetic Algorithm, *2nd Int. Conf. on Intelligent Computing Technology and Automation*, Changsha, Hunan, China, 10-11 Oct.
- Yoh, A.C., Iseki, H., Taylor, B.D., King, D.A., (1006) Interoperable transit smart card systems : Are we moving too slowly or too quickly?, *Transportation Research Record*, 1986: 69-77.
- YongFeng, D., NaNa, L., ZhengChao, D., Junhua, G., Weini, L., (2009) Research on model and its solving algorithm for transit scheduling problem, *Int. Conf. on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Zhangjiajie, Hunan, China, 11-12 Avril, 3.
- Yu, D., Mishra, S., Lin, J., (2006) Visualization of bus schedule adherence using GIS, *Ninth Int. Conf. on Applications of Advanced Technology in Transportation*, Chicago, IL, 13-16 Août.
- Zhu, L., Zou, L., Xu, J., (2006) Integrating GSM technology for the public transportation guidance system, *World Congress on Intelligent Control and Automation*, Dalian, China, 21-23 Juin.