

Examen des potentialités d'analyse des données d'un système de paiement par carte à puce en transport urbain

Martin Trépanier, ing. Ph.D.
professeur adjoint, École Polytechnique de Montréal

Salah Barj, ing.
Société de transport de l'Outaouais

Carmel Dufour, ing.
Société de transport de l'Outaouais

Romain Poilpré, M.Ing.
étudiant

Exposé préparé pour la séance sur
"Utilisation des systèmes de transport intelligents (STI) à l'appui de la gestion de la circulation"

du congrès annuel de 2004 de
l'Association des transports du Canada
à Québec (Québec)

Résumé

Dans le contexte de la mise en place de systèmes de perception par cartes à puce en transport collectif urbain, les planificateurs s'interrogent sur les nouvelles possibilités d'analyse offertes par ces systèmes qui recueillent quotidiennement une très grande quantité de données sur les déplacements des usagers. Il existe actuellement un bon nombre de technologies utilisant la carte à puce, mais peu de chercheurs se sont penchés sur l'utilisation qui doit être faite des données qui en découlent.

Cet exposé présente des travaux de recherche réalisés en collaboration avec la Société de transport de l'Outaouais (STO), un chef de file en matière d'utilisation de la carte à puce. L'objectif est de développer une méthodologie générale permettant de faire ressortir les potentialités d'utilisation des données recueillies par ces systèmes. Il aborde en premier lieu les aspects méthodologiques du problème et présente ensuite les différentes catégories d'objets analysés.

Dans le cadre de cette étude, trois catégories d'objets ont été identifiés et analysés :

- « Usagers» (usager, chaîne de déplacements, déplacements): modélisation et compréhension du comportement et des habitudes de déplacements des usagers.
- « Opérationnel» (chauffeur, bus, ligne, tracé, arrêt-ligne) : tous les objets qui vont modéliser les infrastructures et les ressources opérationnelles.
- « Territoire» (arrêt, générateur) : objets fixes qui structurent la géographie du réseau et encadrent son utilisation.

L'article démontre la faisabilité d'une telle approche, en énonce les limites et évoque les perspectives d'évolution dans les prochaines années.

1 Introduction

Avec l'essor des systèmes de transport intelligents, les opérateurs de transport disposent maintenant de technologies de localisation et de suivi des usagers répondant à leurs besoins immédiats en termes de perception des revenus. La Société de transport de l'Outaouais est une des premières autorités de transport au Canada à avoir instauré un système de perception par cartes à puces sans contact, et poursuit son implantation en visant le remplacement à terme de tous les types de paiement, billets et argent comptant, par cette technologie.

Il appert que ce type de système récolte quotidiennement une énorme quantité d'informations sur le comportement des usagers et les conditions opératoires du réseau de transport. Outre la fonction principale de perception des systèmes de cartes à puces en transport, il en ressort que ces données peuvent servir, dans les limites imposées par la confidentialité inhérente, à des fins de planification stratégique, tactique et opérationnelle pour l'opérateur.

Cet exposé présente les travaux effectués à la Société de transport de l'Outaouais et démontre les potentialités d'utilisation de ces données dans un cadre réel (Poilpré 2003). Il vise également à contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine des systèmes de transport intelligents, où l'instrumentation technologique dépasse souvent les capacités de traitement de l'information, causant ainsi de "l'indigestion informationnelle" chez les intervenants, au risque de ne pas pleinement rendre justice aux investissements consentis.

Avant toute analyse, nous examinerons certains travaux de recherche qui ont conduit aux réflexions par rapport aux données récoltées : l'utilisation des systèmes d'information en transport dans une perspective totalement désagrégée, ainsi que l'émergence d'une approche orientée-objet en transport qui a fait ses preuves dans d'autres domaines hautement infogivores, comme les systèmes d'information aux usagers et les enquêtes origine-destination. Il en résultera une méthodologie générale qui a été utilisée pour l'examen, le traitement et l'analyse des données de la Société de transport de l'Outaouais. L'identification des objets d'analyse suivants a permis de structurer l'argumentaire:

- « Usagers » (usager, chaîne de déplacements, déplacements): la modélisation et la compréhension du comportement et des habitudes de déplacements de ses usagers est essentiel afin de rester à l'écoute des besoins des clients et de leur proposer des services qui leurs sont le plus adaptés possibles.
- « Opérationnel » (chauffeur, bus, ligne, tracé, arrêt-ligne) : tous les objets qui vont modéliser les infrastructures et les ressources opérationnelles et qui vont permettre de caractériser le fonctionnement de l'ensemble de ces moyens.
- « Territoire » (arrêt, générateur) : objets fixes qui structurent la géographie du réseau et encadrent son utilisation.

Évidemment, il reste beaucoup à faire en recherche et au niveau opérationnel pour en arriver à un "système" fonctionnel. L'article présentera les défis et les limites de l'utilisation d'une telle approche dans le cadre actuel, et élaborera sur des perspectives méthodologiques à venir.

2 Fondements

Cette section rappelle quelques éléments sur lesquels repose la présente étude. Elle rappelle aussi quelques travaux connexes aux systèmes de cartes à puce en général.

2.1 Systèmes de perception par cartes à puces en transport urbain

La carte à puce (« smart card ») est une technologie qui ne date pas d'hier. L'idée d'une cartes possédant une puce informatique a été brevetée en 1968 par les chercheurs allemands Dethloff et Grötrupp (Shelfer et Procaccino 2002). Les japonais ont suivi en 1970. La première puce « commerciale » a été fabriquée par Motorola et Bull en 1977. Aujourd'hui, on parle de carte sans contact : le signal est établi entre le lecteur et la carte via ondes radio (principe des RFID, « radio frequency identification ») ou infrarouges. Les applications de la carte à puce sont diverses, passant de la simple authentification (identification d'une personne) à l'autorisation (vérification de la validité de cette personne dans une base de données), puis à la transaction (prélèvement d'un paiement ou enregistrement d'une transaction sur la carte).

Les opérateurs de transport urbain sont éminemment intéressés par ce mode de paiement, qui permet à la fois la validation du titre de transport en vertu des règles (souvent compliquées) de l'opérateur, et aussi un mode de paiement à la pièce. À l'heure actuelle, plusieurs ont adopté la carte à puce, surtout en Europe. Au Canada, la Société de transport de l'Outaouais est un chef de file en la matière, et d'autres projets d'implantation sont en cours, notamment dans la grande région de Montréal. Dans le contexte du transport urbain, la carte à puce offre l'avantage de pouvoir stocker plusieurs titres de transport à la fois. Bonneau (2002) mentionne que les cartes doivent détenir de plus en plus d'informations en vue d'être compatibles aux structures tarifaires des multiples opérateurs d'une même région métropolitaine. Le prochain saut technologique des cartes à puce leur confère un rôle dépassant le simple stockage de données : on y implante maintenant des mini-logiciels qui effectuent eux-mêmes du traitement de données (Girard et Giraud 2003).

Les implications de cette technologie atteignent des proportions imprévues : la société de transport de Washington (Washington Metropolitan Area Transit Authority, *WMATA*) prévoit d'ajouter des données d'identification personnelles sur ses cartes-tickets à puces afin de contrer le terrorisme... mesure qui n'est pas sans poser des problèmes de confidentialité. Cette question de confidentialité et de protection des renseignements personnels revient d'ailleurs constamment à l'esprit lorsque l'on parle des systèmes de perception par cartes à puces. Clarke (2001) rappelle que la carte à puce n'est qu'une des très nombreuses technologies permettant de retracer l'identification et les habitudes d'une personne, parmi les systèmes bancaires, policiers, d'immatriculation, de péage routier et qu'en ce sens, elle doit susciter les mêmes questionnements que ces systèmes et doit impliquer tous les intervenants, soit les organismes utilisateurs, les fabricants, les organismes normalisateurs, les politiciens et le commissaire à la vie privée.

Certains chercheurs visent également l'utilisation de la carte à puce dans une vision globale de transport durable, où l'utilisateur utiliserait sa carte pour emprunter divers modes de transport intégrés tel que le covoiturage et les véhicules de transport collectif de plusieurs opérateurs de façon simultanée, en plus de recevoir en temps réel des informations transport (Hoejer 1996).

2.2 Système de validation des titres de transport de la STO

La Société de transport de l'Outaouais (STO) opère une flotte de plus de 200 autobus dans la ville de Gatineau, au Québec (240 000 personnes). Après des premières réflexions sur un système de contrôle et de perception des titres de transport au début des années 1990, la STO annonce en 1997 la mise en place d'un système informatisé de validation des titres (SIVT) sur l'ensemble de son réseau. Le système est opérationnel depuis la fin 2001 et touche maintenant tous les titulaires de cartes mensuelles, soit plus de 80% des usagers.

Le système implanté à la STO utilise la technologie des cartes sans contact (*contactless*) (Figure 1). Chaque usager dispose d'une carte identifiée à son nom (avec photo) contenant une puce de stockage de données et une antenne. En bref, la puce contient un identifiant et des données indiquant le type de titre et la date de validité. Lorsque l'usager monte dans un autobus de la STO, il passe sa carte devant un lecteur. Ce dernier transmet un signal d'excitation à la carte, qui lui retourne alors ses données. Le lecteur indique ensuite, par un signal lumineux et sonore, si la carte de l'usager est valide pour la ligne et la direction courantes.

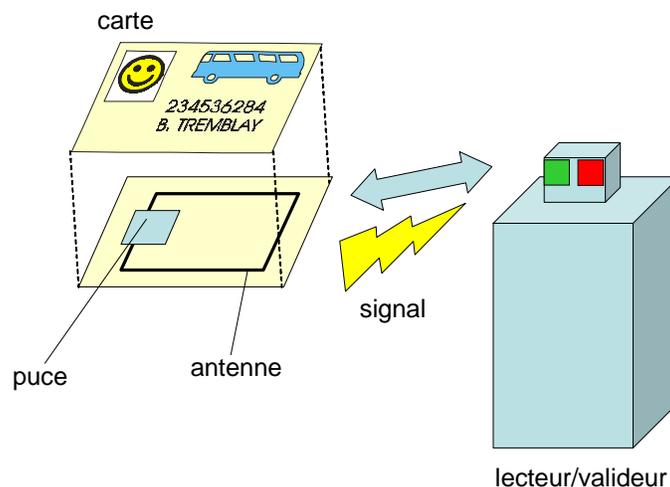


Figure 1: principe de la carte à puce sans contact

Ce principe de validation des titres nécessite beaucoup plus que la carte et le lecteur, qui ne sont que les éléments "visibles" du système. La Figure 2 présente le diagramme fonctionnel du paiement par cartes à puce à la STO. L'usager obtient sa carte d'un point de vente "émetteur" qui possède l'équipement permettant d'identifier et d'initialiser la carte. Il peut par la suite se rendre dans un point de vente de rechargement afin de faire le paiement du titre mensuel. Le titre présent sur la carte est alors validé jusqu'à une date déterminée. Ces points de vente sont en relation avec le système comptable de la STO pour assurer l'intégrité des transactions financières. L'usager monte ensuite à bord d'un autobus, où le lecteur valide son titre en fonction du type de titre acheté, de la date et du circuit d'embarquement (titres "express", "interzone", etc.).

Pour assurer la validation, chaque autobus dispose d'un micro-ordinateur sur lequel sont chargées les données sur les tracés et voyages. Ces données proviennent du système

opérationnel de la STO (en l'occurrence HASTUS), en passant par le serveur central SIVT. De façon quotidienne, toutes les montées (usagers qui montent à bord) sont enregistrées par l'ordinateur de bord. Ces données sont téléchargées par infrarouge vers le serveur SIVT lors du retour au garage du véhicule.

Afin d'assurer la confidentialité des informations récoltées, le serveur SIVT ne stocke aucune donnée nominative sur les usagers; celles-ci sont conservées dans une base de données parallèle.

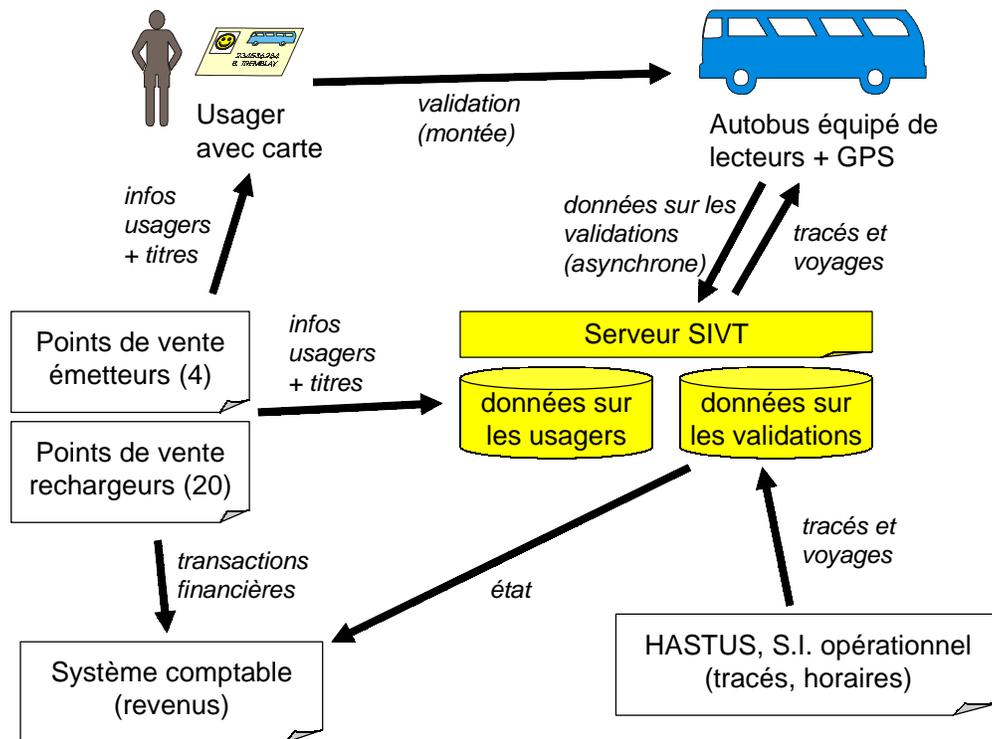


Figure 2: diagramme fonctionnel du paiement par cartes à puce à la STO

2.3 Approche totalement désagrégée en transport urbain

La quantité de données récoltées par un système de paiement par carte à puce tel que celui de la Société de transport de l'Outaouais engendre quotidiennement une quantité impressionnante de données de type transactionnelles. Ces données sur des montées à bord des autobus sont de nature spatiale et temporelle et nécessite une attention toute particulière à l'analyse. Il est en de même pour celles provenant des grandes enquêtes origine-destination de la région de Montréal. L'utilisation d'une approche totalement désagrégée pour l'examen des données est donc tout indiquée, vu la nature individuelle de l'information récoltée.

L'approche totalement désagrégée, proposée par Chapleau (1986), est couramment utilisée pour les activités de planification et d'opération des transports. Elle se caractérise par:

- l'utilisation extensive de l'information à un niveau individuel, ce qui implique la conservation structurée des données sur les ménages (taille, domicile, possession automobile), les personnes (âge, sexe, permis de conduire) et les déplacements

(extrémités, modes, motifs, utilisation du transport collectif, etc.). Les informations déclarées (par la personne interrogée) et décrites (validée en fonction des données opérationnelles) sont exploitées de pair.

- l'élimination des découpages territoriaux, signes d'une époque de planification révolue, et soutien de systèmes d'information géographiques pour la caractérisation spatiale la plus fine des extrémités de déplacements: codes postaux, plus coordonnées X-Y et identification spatiale unique (dans le cas des générateurs, par exemple).

La définition du déplacement individuel préconisée par cette approche est préalable à la compréhension des analyses qui ont été faites dans le cadre de cette étude. La Figure 3 schématise le déplacement. Celui-ci débute par l'accès à l'origine de l'usager par l'utilisation du réseau piétonnier (de même pour la destination). Ensuite, l'usager accède au réseau via un arrêt ou une station d'embarquement, et emprunte une ou plusieurs lignes de transport collectif jusqu'à destination. Un système de paiement par cartes à puce comme celui de la STO enregistre, par le biais des validations de carte, les montées effectuées aux points d'embarquement et de correspondance (points A et B sur le schéma).

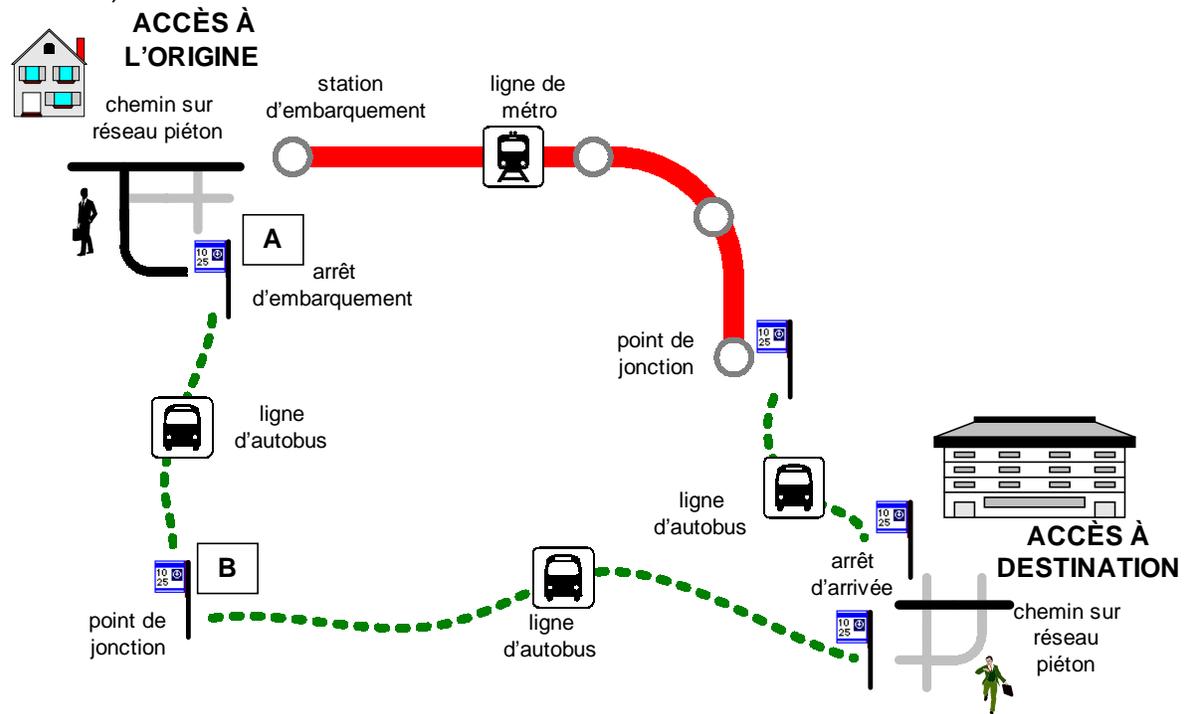


Figure 3: déplacement individuel désagrégé

Au fil des ans, l'approche a ouvert les domaines d'analyse en planification à l'aide de la suite logicielle MADITUC (Modèle d'Analyse Désagrégée des Itinéraires de Transport Urbain Collectif): prestation du service, extension des réseaux de métro et de train, financement, prévisions de la demande, etc. Les processus de validation et de simulation des déplacements sur les réseaux de transport collectif ont notamment mené au développement du calculateur de trajets utilisé actuellement sur les sites Internet (Trépanier et al. 2002).

2.4 Modélisation orientée-objet en transport

La modélisation orientée-objet en transport s'inscrit dans la continuité de l'approche totalement désagrégée en offrant un cadre structurant aux données et aux procédures de traitement. Elle s'articule autour de quatre grandes métaclasses de transport suivantes, qui servent à caractériser l'ensemble des objets :

- la classe des objets statiques : elle regroupe les éléments fixes dans le temps et l'espace. Leur rôle est de décrire le territoire et de baliser les mouvements qui s'y déroulent. Nous y retrouvons par exemple les objets suivant : le domicile, la municipalité, l'arrêt d'autobus, etc.
- la classe des objets cinétiques : ce sont les supports et les descripteurs du transport. Nous y retrouvons par exemple les objets suivant : la rue, l'itinéraire, la ligne, etc.
- la classe des objets dynamiques : ce sont les acteurs du transport. Ces objets sont ceux qui décident et contribuent aux mouvements. Nous pouvons y retrouver par exemple : une personne, un groupe de personne, un ménage, une voiture, un autobus, etc.
- la classe des objets systémiques : ce sont des ensembles cohérents d'objets interreliés. Ces objets peuvent faire référence à tout ce qui est opérationnel (le réseau routier ou le réseau de transport en commun) et informationnel (l'enquête, le recensement).

Jusqu'à présent, l'approche a été utilisée dans l'étude des générateurs de déplacements en milieu urbain (Trépanier et al. 2003) ainsi que dans la fusion de données géospatiales provenant de réseaux de transport distincts (Trépanier et Chapleau 2001).

3 Méthodologie

L'utilisation de l'approche orientée-objet en transport dans le cadre de cette étude a permis d'attaquer la problématique d'utilisation des données sans égard aux technologies utilisées. Les objets d'analyse ont d'abord été identifiés, puis une architecture informationnelle (déjà présente en partie à la STO) a été développée pour les fins de l'analyse.

3.1 Identification des objets d'analyse

Le diagramme de la Figure 4 présente les principaux objets en présence. Un premier groupe d'objets, qualifiés « d'opérationnel STO », caractérisent les aspects opérationnels du réseau tel que les lignes, tracés, voyages et voitures (pièces de travail). Ces objets sont supportés par le groupe d'objets statiques « territoire STO », comprenant le garage, les infrastructures du réseau ainsi que tous les lieux d'activités et les domiciles. Enfin, le groupe « Usagers STO » concerne les chaînes de déplacements des individus.

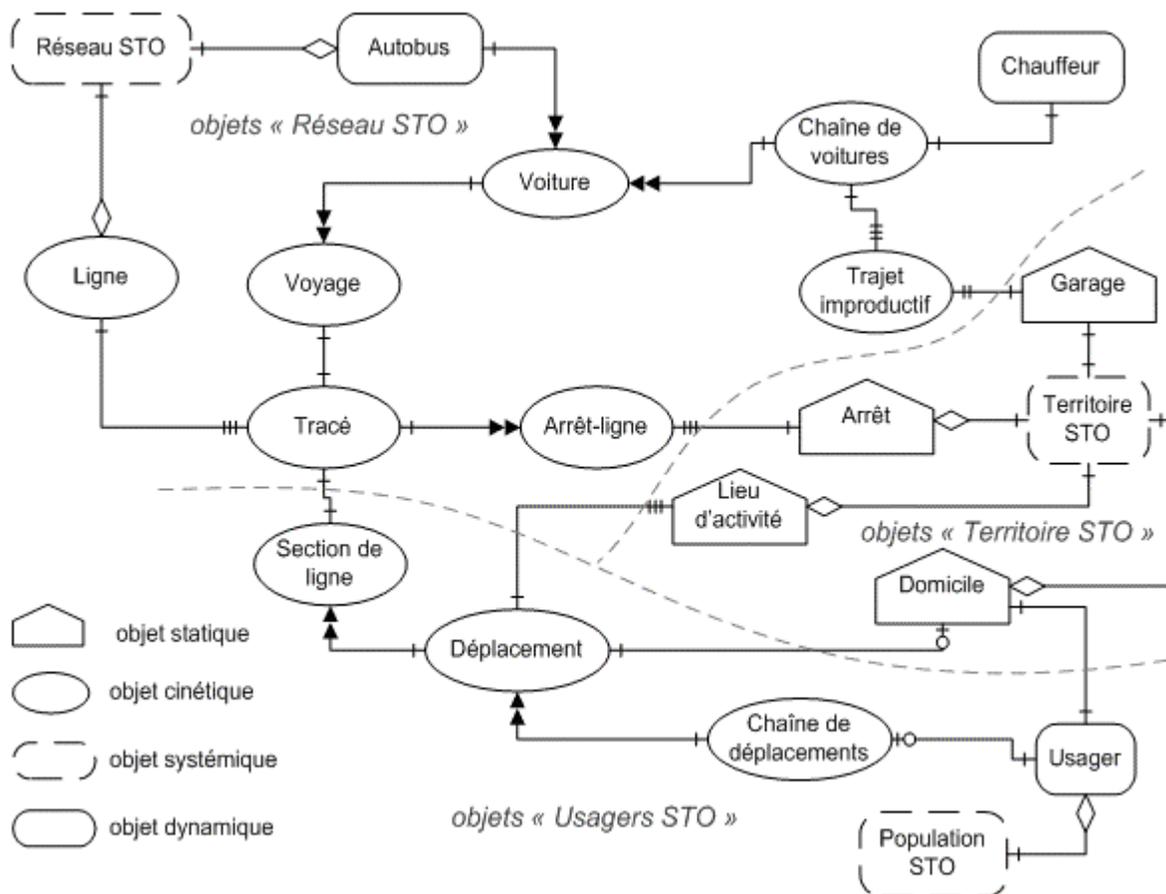


Figure 4: modèle-objet du système de transport de la STO

3.2 Architecture informationnelle

Chacun des objets précédents ont été caractérisés selon leur rôle et leurs attributs au sein du système, puis nous avons tenté de retrouver, à l'intérieur d'un échantillon de données, ces mêmes objets ou, du moins, leur manifestation. Pour ce faire, les données du mois de juillet 2003 ont été examinées, ce qui comprend toutes les transactions de validation de cartes à bord des autobus. Rappelons qu'aucune information nominative n'apparaît sur les cartes, ce qui assure la confidentialité de l'information à cet égard.

Une partie du modèle relationnel de la base de données actuelle a été utilisée pour les analyses. Au besoin, des champs d'information ont été ajoutés, mais aucune donnée n'a été détruite ou modifiée afin de permettre la reproductibilité des opérations effectuées. À la Figure 5, nous retrouvons le modèle relationnel simplifié. La table principale (« Montées ») enregistre les montées à bord des véhicules en qualifiant la date, l'heure, la carte utilisée, la ligne et la direction, l'arrêt et les coordonnées GPS. La caractérisation du type de montée y est également présente puisque cette table répertorie les montées à l'origine et celle à chaque correspondance. Dans le modèle, on retrouve également de l'information non nominative sur les cartes, ainsi que des données sur le réseau et les transactions effectuées sur les cartes (tel que les rechargements, mais sans information financière).

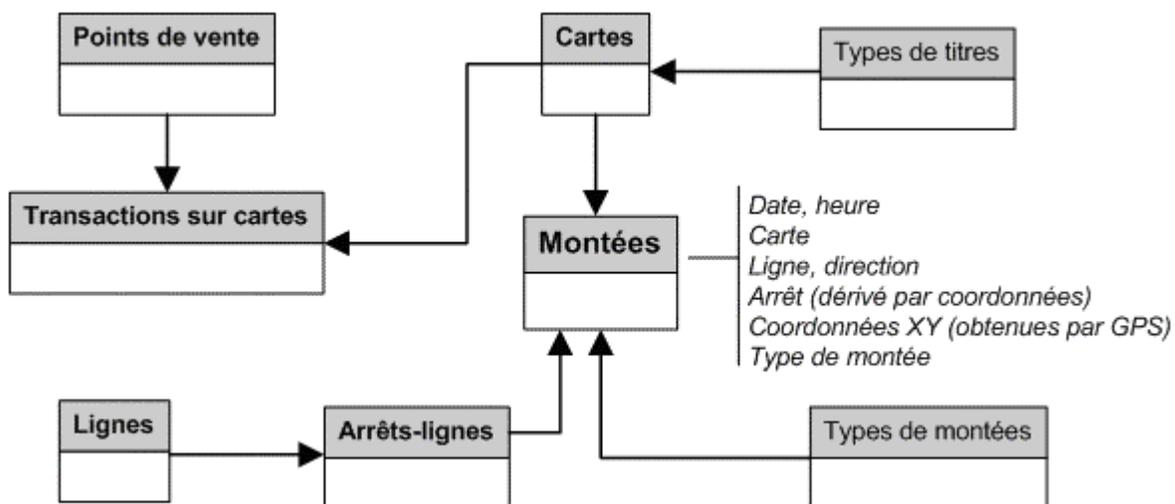


Figure 5: modèle relationnel simplifié

4 Examen des potentialités

Bien que le système informatisé de validation des titres de transport (SIVT) contienne un très grand nombre de données sur les montées à bord des véhicules, rappelons qu'il est d'abord conçu pour assurer la validation des titres de transport et le contrôle des revenus. Cet état de fait peut causer des problèmes d'utilisabilité des données à d'autres fins. Un certain nombre de procédures ont été développées pour:

- corriger les données, c'est-à-dire modifier une valeur dans les cas où il y a des erreurs flagrantes dans le champ de données;
- valider les données, c'est-à-dire vérifier une valeur à partir des circonstances (autres champs et tables associées) et caractériser cette valeur par l'ajout d'un champ;
- imputer les données, c'est-à-dire créer des données relatives aux valeurs présentes par un examen circonstancié et ajouter un champ.

4.1 Usagers

Les données provenant du système de perception nous renseignent sur le comportement des usagers de transport collectif, par le biais des montées à bord des véhicules. Au préalable, il faut rappeler que les données nominatives sur l'utilisateur ne sont pas disponibles pour fins de confidentialité. En outre, la carte à puces n'est utilisée que par une portion (certes importante) des usagers de la STO et n'est pas employée pour les paiements en espèce, non plus par les usagers de la société de transport d'Ottawa (OC Transpo). Enfin, l'identifiant de la carte est le seul fil conducteur pour qualifier le comportement d'utilisateur. Advenant le cas où un utilisateur doit remplacer sa carte (perte, vol), l'historique est coupé. Certaines procédures sont prévues pour pallier ces inconvénients dans les prochains mois, mais elles ne font pas l'objet du travail ici.

Outre les statistiques brutes sur les montées à bord des véhicules, un prétraitement nous a permis de distinguer les montées faites à l'origine des déplacements des montées faites lors des correspondances. À la STO, le SIVT indique si une montée est en

correspondance selon les règles internes de la Société : toute montée dans les deux heures suivant une première montée est qualifiée de correspondance. Pour des fins de planification, cette définition a été revue afin d'assurer une meilleure identification des déplacements. Par exemple, deux montées consécutives en moins de deux heures sur une même ligne, dans deux directions différentes, deviennent deux montées à l'origine, alors que le SIVT qualifie la deuxième montée de correspondance. Ce genre d'exercice a été fait sur la plupart des objets analysés en posant des hypothèses simples.

Bref, la qualification des montées et des correspondances permet de mieux définir le déplacement de l'usager. Cependant, le bât blesse à la destination, car le système n'enregistre pas la descente du véhicule par l'usager. Nous avons temporairement développé une logique qui détermine le point de destination par l'examen de la chaîne complète de déplacements au cours d'une journée. Ainsi, les déplacements pendulaires, les plus faciles à identifier, se sont vus imputés comme point de destination l'origine du déplacement suivant. Le lieu approximatif du domicile du détenteur peut également être déduit par le premier arrêt d'embarquement du matin, quoiqu'il faille examiner de façon détaillée l'utilisation du sol autour de cet arrêt pour s'assurer du caractère résidentiel, ou pour capturer les déplacements bimodaux (auto et transport collectif). Nous sommes d'avis qu'un projet de recherche approfondi est nécessaire pour peaufiner toutes ces hypothèses. Il faut également souligner que le système de la STO est couplé à des lecteurs GPS, ce qui ouvre la porte à toutes les analyses spatiales sur les points de montée sur le réseau.

Le Tableau 1 présente de façon brute les statistiques qu'il est possible d'obtenir à l'aide du système de perception de la STO. Il indique également les dimensions possibles, chacune de ces statistiques pouvant faire l'objet d'une analyse croisée à l'aide de ces dimensions. Par exemple, on peut obtenir le nombre de déplacements faits à une date donnée, entre 6h00 et 8h00, par les usagers de la catégorie de titres "régulier", ou le nombre moyens de correspondances faites par les usagers résidant dans le secteur Aylmer.

Usagers	Déplacements des usagers	Chaînes de déplacement des usagers	<i>DIMENSIONS</i>
Nombre, lieux de résidence (dérivé)	Nombre, distance sur le réseau (dérivée), durée du déplacement (dérivée) et de durée, lieu d'origine, lieu de destination (dérivé), lieu de correspondance, heure de première montée, heure de correspondance	Nombre de déplacements dans la chaîne, patrons de déplacements (agencement)	<i>par heure, jour, type de titre, ligne, direction, tracé, voyage</i>

Tableau 1: Statistiques individuelles sur les usagers de la carte à puce

En guise de démonstration méthodologique, la Figure 6 illustre les déplacements-montées à vol d'oiseau effectués par un usager de la carte à puce pour une période d'un mois. Les points indiquent simultanément les origines, destinations et lieux de correspondance.

4.2 Opération

En parallèle aux statistiques sur les usagers, il est possible d'obtenir, grâce au SIVT, des indicateurs d'état du réseau de transport collectif avec un niveau de détail impressionnant. En effet, par le biais des montées, on peut caractériser chaque ligne, tracé, direction, voyage (véhicule) et arrêt du réseau. Dans le SIVT, les attributs relatifs au réseau sont associés aux montées par adéquation entre la position GPS du véhicule et l'information sur le voyage actif obtenue depuis le système d'information opérationnel (HASTUS) et validée par le chauffeur lors des battements en bout de ligne. Avant toute analyse, une procédure a été développée pour s'assurer que les attributs du réseau (et notamment l'identifiant des arrêts) est conforme à la position GPS.

La STO possède également un système de compte à bord des véhicules et vise l'intégration des données obtenues de ce système avec celles du SIVT afin de pousser plus avant les potentialités d'analyse (notamment les descentes). Pour le moment, un grand nombre d'indicateurs peuvent être déterminés, comme l'indique le Tableau 2.

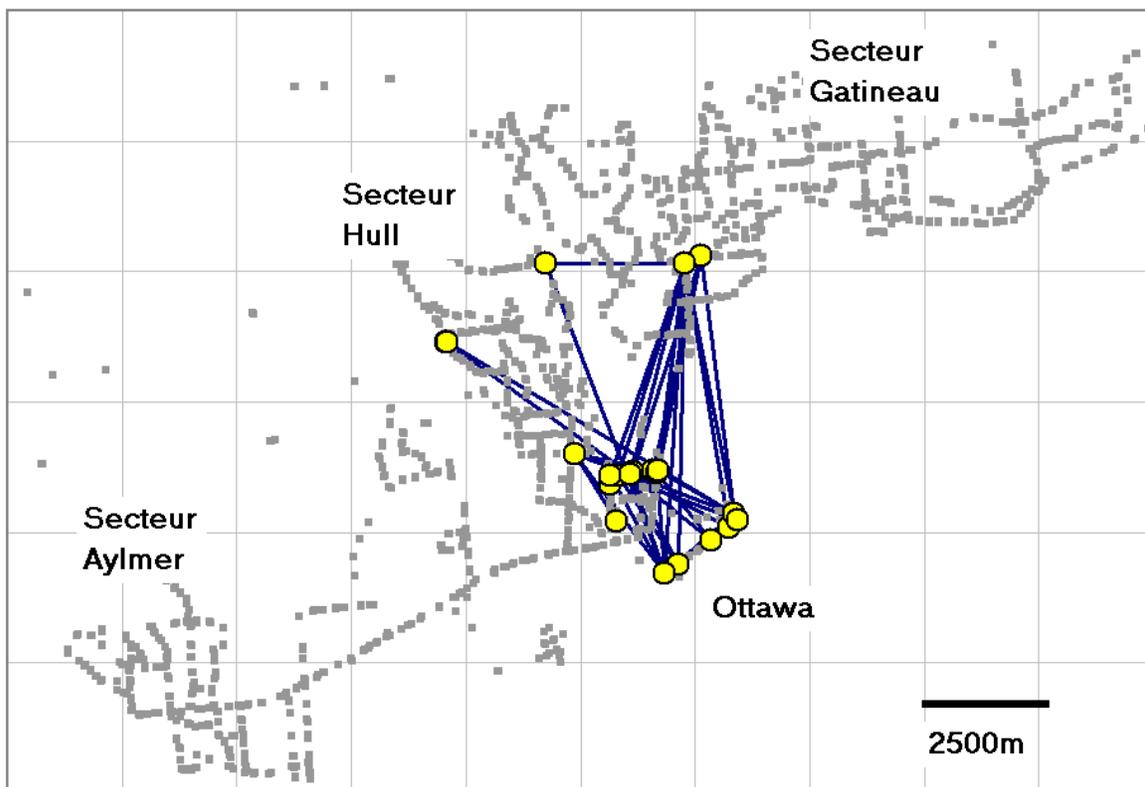


Figure 6: Déplacements-montées mensuels associés à une carte (vol d'oiseau)

Lignes / Tracés	Voyages / Véhicules	Arrêts-Lignes	<i>DIMENSIONS</i>
Montants, descendants (dérivés), profil de charge (dérivé)	Montants, descendants (dérivés), profil de charge (dérivé), heure de passage réelle	Montants, heure de passage	<i>par jour, période de la journée, type de titre, type de montée (origine ou correspondance)</i>

Tableau 2: Statistiques sur les objets opérationnels, usagers de la carte à puce seulement

Toujours en guise de démonstration, la Figure 7 présente un graphe du nombre de montants à chaque arrêt du réseau pour un mois donné. À l'aide d'un tel outil, on peut efficacement cibler des interventions sur les infrastructures aux arrêts comme les panneaux à messages variables ou les abribus. Par analyse croisée, on peut également examiner la clientèle de chaque arrêt avec les types de titre, permettant d'identifier, par exemple, les arrêts avec une grande proportion de personnes âgées.



Figure 7: nombre de montées aux arrêts de la STO par les usagers de la carte à puce, juillet 2003

4.3 Territoire

Les objets de type « territoire STO » sont probablement le plus difficiles à cerner car le système de perception n'a pas été conçu dans cette optique d'analyse. Par contre, nous sommes d'avis qu'il s'agit d'un filon intéressant. Par le biais des références spatiales récoltées grâce aux lecteurs GPS à bord, il est possible de caractériser trois types d'objets :

- les lieux de domicile, ou du moins les quartiers, en examinant les localisations d'origine du premier déplacement de la journée;
- les lieux attracteurs de déplacements (générateurs), tel que les écoles, centres commerciaux, établissements de santé, édifices à bureau, industries, etc.
- les infrastructures du réseau de transport collectif, tel que les arrêts, terminus, voies réservées (corridors) et le garage.

Le Tableau 3 présente les indicateurs relatifs aux objets territoriaux.

Domiciles (secteurs)	Lieux attracteurs de déplacements	Infrastructures du réseau	<i>DIMENSIONS</i>
Nombre d'usagers, couverture, + toutes les caractéristiques des déplacements des résidents	Nombre d'usagers, de déplacements, de voyages (véhicules) → desserte	Nombre de véhicules passants, nombres d'usagers passants	<i>par jour, période de la journée, type de titre, ligne, type de montée (origine ou correspondance)</i>

Tableau 3: Statistiques sur les objets territoriaux, usagers de la carte à puce seulement

Il est clair qu'un système d'information géographique transport (SIG-T) aide grandement à l'identification et à l'analyse de ces lieux particuliers.

5 Conclusion

5.1 Discussion sur l'approche actuelle

Bien que les données récoltées d'un système de perception par carte à puce puissent être structurées dans un modèle relationnel, il n'est pas suffisant d'appliquer des techniques d'analyse de données classiques tel que des requêtes SQL pour en tirer toute la richesse informationnelle. L'information contenue témoigne d'une complexité spatiale et temporelle élevée, avec un lien étroit à créer avec les systèmes d'information géographiques et un recoupage avec les systèmes d'information opérationnels.

Dans ce projet, il nous a semblé important de :

- Bien identifier les objets en présence et leur rôle au sein du « système global de transport ».

- Corriger les données à la source, lorsque possible. Des recommandations ont également été émises à la STO pour s'assurer de la bonne qualité des données au départ, par la modification des processus et de l'instrumentation.
- Valider les données par des analyses croisées multivariées, ce qui permet de qualifier les enregistrements et de dériver de nouvelles variables (par imputation), sans pour autant altérer les données actuelles. Pour ce faire, il est quelquefois nécessaire de poser des hypothèses liées au comportement des usagers et non seulement aux règles du transporteur, tout dépendant de l'objectif visé (exemple des correspondances).
- Commencer l'exploitation de données sur un échantillon restreint afin de démontrer la pertinence d'examiner ces données pour des objectifs autre que la perception des revenus.

5.2 Perspectives méthodologiques

L'examen des potentialités d'analyse des données du système de la STO ouvre la voie à une série de travaux de recherche touchant dans l'ordre les aspects stratégiques, tactiques et opérationnels.

- L'étude a démontré qu'il serait possible de mieux caractériser les comportements des usagers de transport collectif à partir des données d'utilisation de la carte à puce. Cependant, il serait souhaitable de pouvoir coupler ces données aux autres sources disponibles, dont les enquêtes origine-destination, afin de valider les hypothèses effectuées et de bonifier les méthodes de planification du transport urbain dans la région gatinoise.
- L'étude a démontré la pertinence de produire des analyses spatio-temporelles des données récoltées dans le SIVT. Il est clair que ce genre d'analyse ne peut se faire adéquatement sans l'existence d'un système d'information géographique intégré et cohérent qui devra être développé à la STO.
- La STO dispose actuellement d'un modélisateur de données associé au SIVT. Au point de vue opérationnel (gestion quotidienne), l'étude indique qu'il faudrait ajouter de nouvelles fonctionnalités dans le modélisateur, en collaboration avec le personnel informatique de la STO, tel que la production de rapports quotidiens et l'épuration des données « automatisé » pour fins d'analyse.

6 Remerciements

Ce projet n'aurait pu se réaliser sans le support, et surtout l'intérêt, de la Société de transport de l'Outaouais et de son directeur général, M. Georges Gratton.

7 Références

BONNEAU, W. and editors (2002). The role of smart cards in mass transit systems, Card Technology Today, June 2002, p.10.

CHAPLEAU, Robert (1986). Transit Network Analysis and Evaluation with a Totally Disaggregate Approach, World Conference on Transportation Research, Vancouver.

- CLARKE, Roger (2001). Person location and person tracking: Technologies, risks and policy implications, *Information Technology & People*, 14 (2), 2001, pp. 206-231.
- DEREKENARIS G., GAROFALAKIS J., MARKIS C., PRENTZAS J., SIOUTAS S., TSAKALIDIS A. (2000). Integrating GIS, GPS and GSM technologies for the effective management of ambulances. *Computers, Environment and Urban Systems*; 25 : 267-278.
- DUEKER, K.J., BUTLER, J.A. (2000) A geographic information system framework for transportation data sharing. *Transportation Research Part C* 2000 ; 8 : 13-26.
- GIRARD, Pierre, GIRAUD, Jean-Luc (2003). Software attacks on smart cards, *Information Security Technical Report*. 8(1), pp. 55-66.
- HOEJER, M. (1996). Urban transport, information technology and sustainable development, *World Transport Policy and Practice*, 2 (1-2), pp. 46-51.
- OCHIENG W.Y., SAUER K. (2002). Urban road transport navigation : performance of the global positioning system after selective availability. *Transportation Research Part C*; 10 : 171-187.
- POILPRÉ, Romain (2003). Étude des potentialités d'analyse des données du système informatisé de validation des titres de la Société de transport de l'Outaouais, Rapport de projet de maîtrise, École Polytechnique, département de mathématiques et de génie industriel, 71 pages.
- SHELFER, M., PROCACCINO, J.D. (2002). Smart card evolution, *Communications of the ACM* July 2002/Vol. 45, No. 7, pp. 83-88.
- TRÉPANIÉ, Martin, CHAPLEAU, Robert, ALLARD, Bruno, MORENCY, Catherine (2003). Trip Generator Relocation Impact Analysis Methodology Based On Household Surveys, *Institute of Transportation Engineers Journal (on the Web)*, Washington, vol. 73, no 10.
- TRÉPANIÉ, Martin, LE DOYEN, Simon (2003). Systèmes d'information géographiques appliqués à la logistique (SIGAL), 5e congrès international de génie industriel, Québec.
- TRÉPANIÉ, Martin, CHAPLEAU, Robert, ALLARD, Bruno (2002). Transit User Information System for Transit Itinerary Calculation on the Web, *Journal of Public Transportation*, Miami, vol. 5, no 3, pages 13-32.
- TRÉPANIÉ, Martin, CHAPLEAU, Robert (2001). Linking Transit Operational Data to Road Network with a Transportation Object-Oriented GIS, *Urban and Regional Information Systems Association Journal*, Park Ridge, IL, vol. 13, no.2, pages 23-27.
- Smart cards move onwards, *Card Technology Today* October 2003, pp. 12-15.
- The role of smart cards in mass transit systems, *Card Technology Today* June 2002, p.10.