

IFSTTAR

CONCOURS EXTERNE
POUR LE RECRUTEMENT D'UN INGENIEUR D'ETUDES
STATISTICIEN
UR SPLOTT

(durée : 3 heures)

Le sujet comporte 22 pages

NOTA :

Les membres du jury accorderont la plus grande attention à la clarté d'expression, à l'orthographe et à la présentation de la copie.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

EXERCICE 1 (Coefficient 5/20)

A/ Lors d'un cross au lycée, les filles ont réalisé un temps moyen de 26 minutes et 42 secondes, tandis que le temps moyen des garçons a été de 19 minutes et 58 secondes.

Sachant que 65 % des participants étaient des garçons, calculez le temps moyen pour l'ensemble des participants (donnez le résultat en minutes et secondes).

B/ 105 filles ont participé à ce cross.

15 filles et 15 garçons n'ont pas terminé la course, et le temps qui leur a été attribué correspond respectivement au temps moyen des autres filles + 25% de ce dernier, et au temps moyen des autres garçons + 25% de ce dernier.

a) Quel aurait été le temps moyen des filles si leurs 15 camarades n'avaient pas participé à cette course (donnez le résultat en minutes et secondes) ?

b) Quel aurait été le temps moyen de l'ensemble des participants sans la participation de ceux ayant abandonné (donnez le résultat en minutes et secondes) ?

C/ On note, dans le tableau suivant, 10 temps de filles et 10 temps de garçons. On y rajoute une variable poids correspondant au poids de chacun des individus :

Filles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps (min'sec")	25'25"	25'40"	25'47"	25'55"	26'15"	26'20"	26'35"	26'45"	27'00"	27'20"
Poids en kg	48	50	55	55	57	62	60	62	63	68

Garçons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps (min'sec")	19'20"	19'30"	20'50"	19'12"	20'30"	19'43"	19'51"	21'00"	20'40"	21'30"
Poids en kg	68	85	77	72	85	80	77	85	69	70

Construisez, sur le papier à carreaux ci-joint (Annexe 1), deux nuages de points séparés, correspondant aux filles et aux garçons et interprétez ces 2 nuages. (Il sera tenu compte de l'échelle choisie).

Vous réaliserez les exercices 2,3 et 4 en vous appuyant sur l'annexe 2

Patier D, Routhier J-L, 2009 Une méthode d'enquête du transport de marchandises en ville pour un diagnostic en politiques urbaines, *les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°55

EXERCICE 2 (Coefficient 5/20)

Rédiger une synthèse de l'article en une page environ

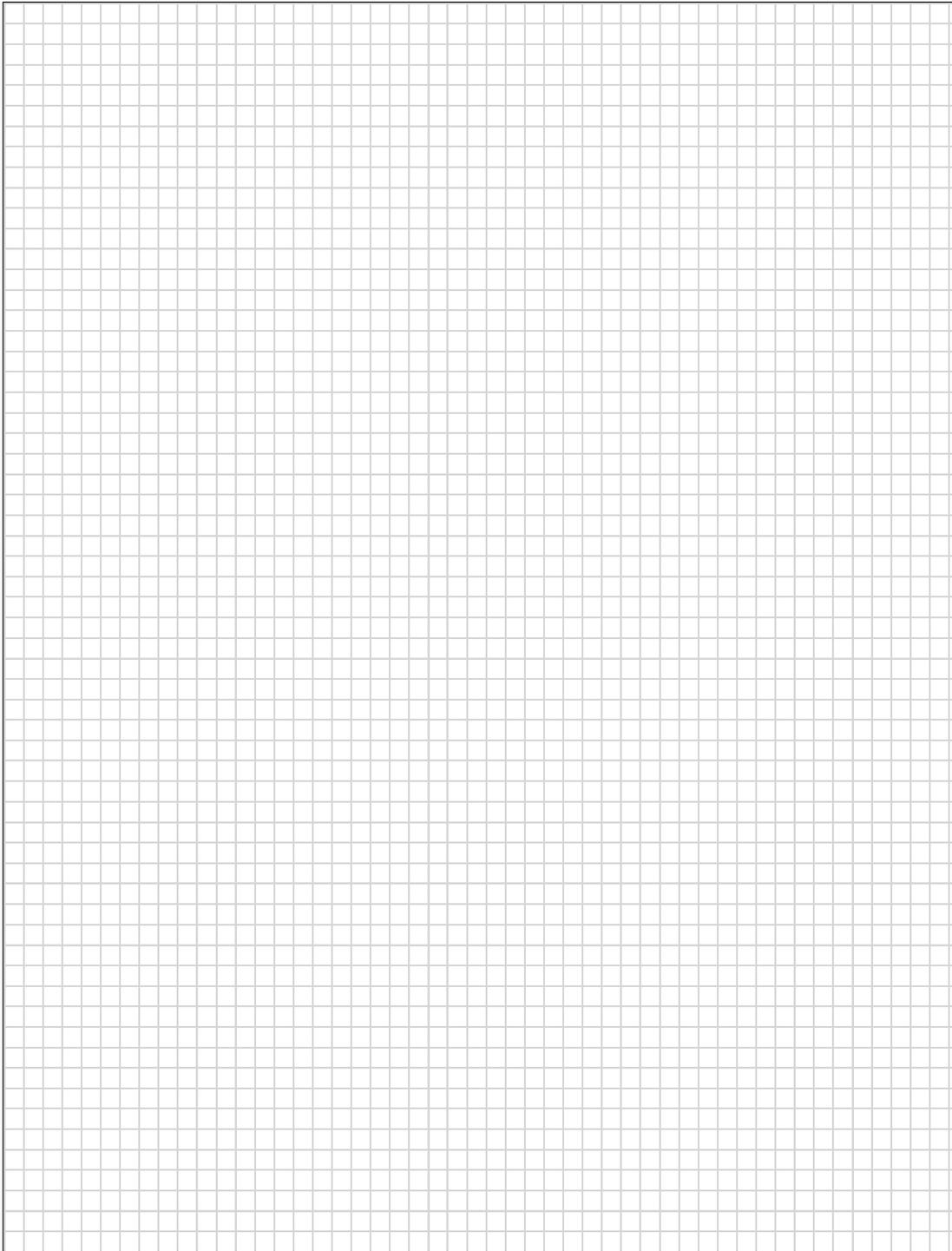
EXERCICE 3 (Coefficient 4/20)

Pourquoi cherche-t-on à mesurer le transport de marchandises en ville ? Quels sont les enjeux sociétaux et environnementaux attachés à cette question ? Que mesure-t-on ? Par quels moyens ?

EXERCICE 4 (Coefficient 6/20)

Comment échantillonne-t-on les établissements et les chauffeurs ? Pourquoi est-il nécessaire d'effectuer une étape de redressement ? Comment ?

ANNEXE 1



Lexique

Transport pour compte d'autrui : transport réalisé par des entreprises de transport, le plus souvent privées, pour des industriels ou commerçants, souvent appelés chargeurs dans le langage transport.

Transport en compte propre : transport réalisé par les entreprises chargeurs. Au lieu de faire appel à un prestataire (transporteur) l'entreprise réalise le transport de ses produits avec ses propres véhicules. Le compte propre destinataire fait référence au transport réalisé par les véhicules de l'établissement destinataire.

VUL Véhicules utilitaires Légers, ils n'ont que deux essieux et sont très utilisés dans la livraison en ville.

UNE MÉTHODE D'ENQUÊTE DU TRANSPORT DE MARCHANDISES EN VILLE POUR UN DIAGNOSTIC EN POLITIQUES URBAINES

DANIÈLE PATIER JEAN-LOUIS ROUTHIER

LET

UNIVERSITÉ DE LYON (UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2, CNRS, ENTPE)

Depuis plusieurs décennies, de nombreuses enquêtes sont régulièrement menées sur les transports urbains de personnes, en particulier sur la mobilité quotidienne, afin de donner à l'aménageur le moyen de prévoir l'usage des infrastructures nouvelles pour en évaluer le rendement social. Il n'en est rien pour les transports de marchandises en ville (TMV). Longtemps, en ce qui concerne les marchandises, les objectifs des aménageurs étaient de dimensionner des infrastructures de transport à la mesure des impératifs de croissance économique, dans un espace encore peu congestionné. Ainsi, les efforts étaient surtout portés sur les échanges de longue distance ce qui fait que les enquêtes orientées vers la connaissance approfondie du transport urbain de marchandises restent peu développées.

1. POURQUOI DES ENQUÊTES TMV AUJOURD'HUI ?

Les enquêtes dédiées à la connaissance du transport de marchandises en ville

ne sont apparues que depuis une quinzaine d'années. Il y a de nombreuses raisons à cela. Dans les années 70, dans tous les pays d'Europe, le problème était de rendre le transport de marchandises, en zone urbaine, le moins pénalisant possible pour la circulation croissante des voitures particulières. Ainsi, pendant longtemps, le but a été de mettre en place des réglementations limitant le tonnage des véhicules « fret » autorisés à circuler dans les zones urbaines denses et fixant les périodes horaires pendant lesquelles ils étaient autorisés à charger ou décharger. Cela a contribué à l'éviction des sites logistiques en périphérie des villes et à la multiplication des centres de groupage-dégroupage hors des zones urbaines denses. Au niveau de l'État, on était surtout préoccupé par le développement d'infrastructures routières pour faciliter le trafic des poids lourds sur les grandes distances, l'un des enjeux étant l'éviction du transit des centres urbains, afin de limiter la congestion. De plus, considérées comme relevant de la sphère privée, les problématiques de transport de marchandises au niveau local n'étaient que partiellement prises en compte par les planificateurs. Aussi, jusqu'à un passé récent, les mouvements de marchandises en ville n'étaient pas un sujet d'étude et d'observation si bien que l'intégration du transport de marchandises dans les modèles de trafic urbain se résumait souvent à un facteur multiplicatif du trafic de voitures particulières.

Dans les années 90, face à la croissance rapide du trafic automobile dans les villes, les principaux enjeux sont devenus la lutte contre la congestion, la gestion de la rareté d'espace, la valorisation économique des espaces urbains centraux (sous contrainte d'une croissance économique ralentie), puis la réduction de la pollution locale et, plus récemment, la maîtrise des dépenses énergétiques et surtout la réduction des impacts environnementaux globaux (effet de serre). Ces enjeux se posent dans un contexte de plus en plus contraignant du point de vue des exigences de qualité de vie urbaine et de la relative pénurie de moyens financiers. D'où un malaise grandissant des professionnels et des collectivités locales, ces dernières ne disposant d'aucune donnée, méthode ou référence leur permettant d'adopter une ligne de conduite cohérente.

Dans cet article, nous analysons le cœur de la collecte de données sur les livraisons et enlèvements de marchandises destinée à rendre compte de l'ensemble des déplacements de marchandises générés par les établissements économiques de la ville.

En France, les trois enquêtes TMV réalisées entre 1995 et 1997 sont les premières enquêtes de grande envergure réalisées dans des villes de tailles différentes, à l'initiative du ministère des transports et de l'ADEME. Elles devraient prochainement être renouvelées. Nous décrivons ici la méthode innovante élaborée au Laboratoire d'Économie des Transports (LET) dans le cadre de ces enquêtes, qui ont permis de :

- faire un diagnostic des mouvements de véhicules de livraison pour l'ensemble des activités, en expliquant pourquoi, par qui et comment

- ces livraisons sont réalisées ;
- connaître les composantes du TMV ;
 - mesurer l'occupation de la voirie par la circulation et le stationnement des véhicules de livraison ;
 - évaluer la part des déplacements des marchandises dans le trafic urbain ;
 - évaluer les effets externes des déplacements de marchandises ;
 - mettre en évidence les ratios et relations fonctionnelles permettant de transférer les résultats à d'autres villes à l'aide d'un modèle de simulation sans refaire des enquêtes coûteuses.

3. L'APPROCHE FRANÇAISE : LES ENQUÊTES DU GÉNÉRATEUR AU CHAUFFEUR LIVREUR

A l'initiative du ministère des transports et de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), le LET a construit et analysé trois grandes enquêtes entre 1994 et 1997 à Bordeaux, Dijon et Marseille (PATIER et al., 1997 ; PATIER et al., 2000) afin de produire les éléments quantitatifs nécessaires à la prévision de la demande et à la mesure des trafics générés dans les villes françaises. La première enquête approfondie a été réalisée à Bordeaux en 1994-95 avec une active participation des autorités locales. Dans chaque ville, la même méthodologie a été retenue. Les résultats ont fourni une base de données pour le calibrage du modèle de simulation FRETURB (ROUTHIER et al., 2001) et une aide à la décision pour les plans de déplacements urbains dans plusieurs villes moyennes françaises.

3.1. ÉLÉMENTS DE MÉTHODOLOGIE

Le transport de marchandises dans la ville est réalisé par des opérateurs divers (en compte propre ou en compte d'autrui), à l'aide de véhicules très différents (de la fourgonnette à l'ensemble articulé), pour livrer des biens de poids, volume et conditionnement également très variés (du pli express au lot complets), avec des fréquences et des rythmes liés aux exigences de flux tendu ou de juste-à-temps des chaînes logistiques et des activités desservies.

Tous ces éléments font système au sein de ce que l'on appelle la logistique urbaine. Aussi, pour permettre de calculer et d'expliquer ses effets externes en termes de congestion, de consommation d'énergie et d'effets sur l'environnement, une enquête sur le transport de marchandises en ville doit satisfaire des exigences particulières.

Trois questions se posent : quelle variable faut-il mesurer pour permettre de rendre compte de ces effets externes ? Quelle unité statistique faut-il observer pour établir un bon système explicatif du phénomène observé ? Qui est le mieux à même de fournir les informations demandées (définir le champ d'observation) ? De plus, afin d'assurer leur opérationnalité, il convient de s'assurer que les enquêtes respectent trois principes liés entre eux : la cohérence (condition de non contradiction mais aussi cohérence avec les objectifs de l'enquête), la pertinence (nécessaire pour refléter la situation actuelle) et la mesurabilité (condition d'évaluation et de vérification des résultats) (BONNAFOUS, 2000).

Compte tenu des acquis des longues années d'administration d'enquêtes sur les déplacements de personnes, il est tentant de les transposer aux marchandises. Pour cela, il est nécessaire de réexaminer l'approche traditionnelle des déplacements de personnes fondée sur le modèle gravitaire à quatre étapes (génération de la demande, choix modal, distribution zone à zone, affectation du trafic sur le réseau). C'est, pour les déplacements de personnes, une réduction de la question qui permet de prévoir le trafic routier ou l'usage des transports publics. Il est vite apparu qu'une telle approche n'était pas transposable aux déplacements des marchandises en ville. En effet, une matrice origine-destination (O/D) des marchandises transportées en ville, qu'elle soit estimée par une enquête ou simulée à l'aide d'un modèle, ne peut se traduire simplement par des flux O/D de véhicules : une tonne (ou un mètre cube) de produits émis d'une zone origine à une zone de destination peut être acheminée soit en « trace directe » entre les deux zones, soit fractionnée en un grand nombre de petits colis dont certains seront transportés directement et dont d'autres seront livrés à la faveur d'une « tournée » pouvant donner lieu à des dizaines de livraisons. Or, environ 75 % des livraisons et enlèvements sont réalisés en tournées plus ou moins complexes (PATIER, ROUTHIER, 1997).

3.1.1. Quelle variable mesurer?

Si nous essayons de focaliser notre objectif sur la gestion de l'espace urbain pour limiter la congestion et réduire les nuisances, la principale question à propos du transport de marchandises en ville est l'**occupation de la voirie** par les véhicules de livraison, qui entrent en compétition avec d'autres usages (véhicules des particuliers, transports collectifs, espaces de circulation des modes doux, trottoirs). L'occupation de la voirie est à considérer selon ses deux composantes que sont les véhicules en circulation et ceux qui sont en stationnement pour livraison, ce qui permet d'expliquer la congestion et les conditions d'accessibilité.

3.1.2. Choix de l'unité d'observation

L'objectif ici est donc avant tout d'observer, de mesurer et de comprendre comment le TMV participe à l'occupation de la voirie qui est un espace rare. Ce sont donc les mouvements de véhicules induits par les expéditions et réceptions qui nous intéressent davantage que les flux de marchandises eux-mêmes. Ces mouvements, considérés en tant que consommateurs d'espace, désignent non seulement les déplacements des véhicules, mais aussi les lieux et conditions de stationnement pour les livraisons et la durée d'occupation de ces lieux. Dès lors, il ne s'agit pas tant de savoir ce qui sera emporté en zone i pour être livré en zone j que de repérer les mouvements de véhicules dans les zones i et j.

Pour observer la manière dont s'organise, dans l'espace et dans le temps, la séquence d'arrêts et de déplacements, la connaissance du flux de véhicules doit donc passer par une analyse des itinéraires. Pour cela, beaucoup d'approches statistiques sont concevables. Chacune se caractérise principalement par l'unité statistique d'observation qui est retenue. Plusieurs unités peuvent être utilisées :

- un segment de rue sur lequel les mouvements de véhicules sont comptés ;
- la totalité de la tournée qui décrit l'itinéraire et les arrêts des véhicules ;
- les établissements qui génèrent les mouvements de véhicules.

Chacune d'elles soulève des difficultés (problème de représentativité de l'échantillon pour la première, impossibilité de lier l'observation avec les statistiques urbaines connues pour la seconde). Tenant compte de ces contraintes, le *mouvement* défini comme *l'événement correspondant à une réception ou un enlèvement de marchandise ou les deux en même temps, réalisé par un véhicule dans un établissement donné* a été considéré comme étant l'unité d'observation statistique la plus pertinente. En effet, l'observation du mouvement permet de faire le lien entre les déterminants économiques et logistiques de la demande de livraisons ou enlèvements dans un établissement et le mode d'organisation du système de transport mis en œuvre pour satisfaire cette demande. Il est ainsi possible d'établir le lien entre les activités économiques et l'occupation de la voirie par les véhicules de livraison. En évitant les difficultés inhérentes à l'identification des flux origine/destination de la marchandise, ce choix permet d'assurer le compromis nécessaire entre cohérence, pertinence et mesurabilité qui en assure l'opérationnalité.

3.1.3. Choix du champ d'observation

Deux acteurs principaux sont impliqués dans la réalisation du mouvement. Il s'agit de l'établissement (réceptionnaire ou expéditeur) et de l'opérateur de transport (en l'occurrence le chauffeur livreur). Par exemple, le nombre et le type de véhicules utilisés pour livrer un établissement dépend du type de

produit transporté, de son conditionnement, de son poids, de son volume et aussi de la fréquence des livraisons. Comme nous l'avons constaté précédemment, de telles données ne sont pas collectées dans les statistiques habituelles, ni au niveau local, ni au niveau régional. Sous l'hypothèse que les flux dépendent de l'activité, il est donc nécessaire d'enquêter les établissements générateurs de flux. En effet, c'est seulement auprès de ces derniers que l'on peut recueillir les informations telles que les contraintes relatives aux produits à transporter, combien et quels types de véhicules s'arrêtent chaque jour dans l'établissement. En revanche, c'est le chauffeur qui est le mieux à même de décrire son parcours et la logique de la tournée au cours de laquelle il a visité l'établissement.

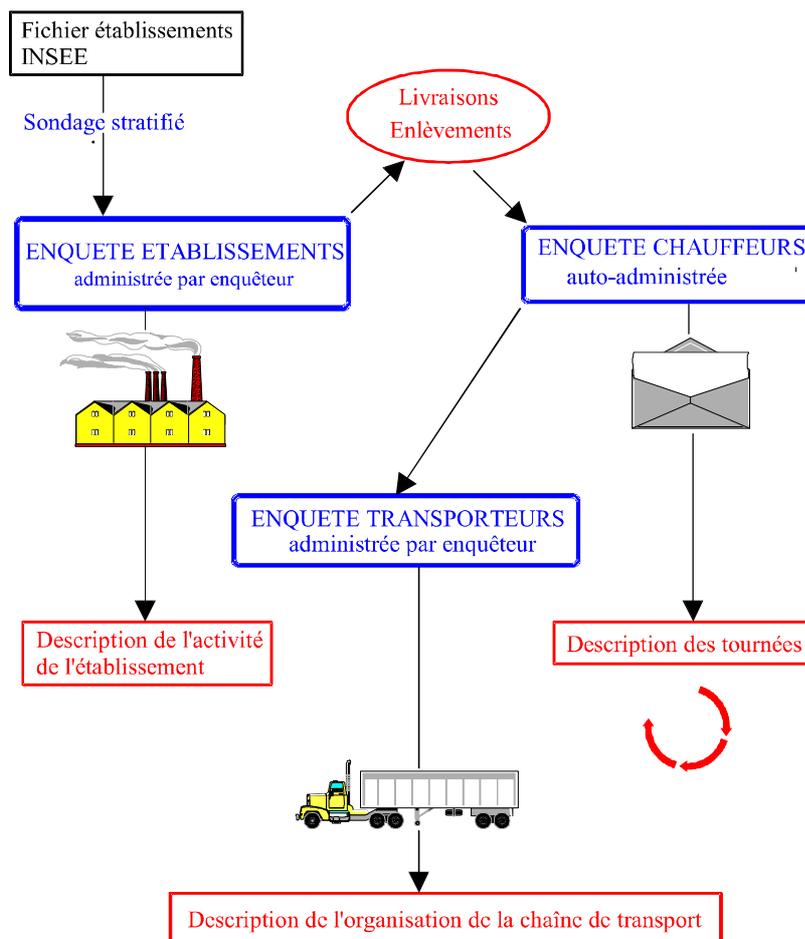
3.1.4. La méthode d'enquête

En conséquence, la première enquête réalisée à Bordeaux (750 000 habitants) a été construite selon trois sous-enquêtes emboîtées (Figure 1) (PATIER, ROUTHIER, 1997).

Une enquête « établissements ». L'enquête est réalisée auprès des établissements qui émettent ou reçoivent des marchandises (toutes activités industrielles, commerciales ou tertiaires). Elle permet, grâce à un questionnaire d'informations générales, de décrire l'activité de l'établissement, ses possibilités de stockage et de stationnement, son parc de véhicules, son environnement, etc. Elle est administrée en face à face par un enquêteur auprès d'un responsable de l'établissement. Un « **carnet de bord** », remis au responsable logistique de l'établissement (dans les gros établissements) ou aux dirigeants (dans les petits établissements), permet de recueillir les éléments chiffrés de l'ensemble des mouvements d'entrée et sortie des marchandises sur une semaine. Il se compose d'une série de « **fiches opérations** » dans lesquelles sont reprises les caractéristiques des différents types de livraisons de la semaine. Il y a autant de fiches que de type de marchandises et opérateurs de transport différents. A chaque fiche est affecté un questionnaire « chauffeurs-livreurs » détachable qui est remis à la personne ayant assuré le transport de la marchandise. Chaque fiche rassemble des informations relatives à la semaine d'enquête : la quantité de mouvements hebdomadaires, le déroulement de la livraison ou de l'enlèvement (lieu, heure, type de véhicule, durée de la manœuvre...), le nom du transporteur, ainsi que la fréquence des livraisons ou enlèvements, les produits transportés (nature, conditionnement, poids, origine ou destination).

L'enquête est réalisée sur sept jours consécutifs, hors jours fériés. La fréquence d'approvisionnement de la majorité des établissements est le plus souvent la semaine et non le jour ou le mois et il existe une grande variété de modes de gestion et d'organisation des livraisons sur la semaine. C'est pourquoi la majorité des résultats sont calculés à la semaine. Afin d'évaluer les variations saisonnières des mouvements, des questions sur les rythmes hebdomadaires et mensuels sont posées.

Figure 1 : Méthode d'enquête TMV à Bordeaux



Une enquête « chauffeurs-livreurs ». L'enquête chauffeurs-livreurs est réalisée auprès des personnes ayant assuré la livraison ou l'enlèvement d'une marchandise dans un établissement en compte propre ou compte d'autrui. Celle-ci est auto-administrée. Les questionnaires sont confiés aux chauffeurs dans l'établissement enquêté à l'occasion d'une livraison ou d'un enlèvement et sont retournés par la poste. Le chauffeur décrit son « parcours », c'est-à-dire le nombre d'arrêts effectués dans la ville, le nombre de kilomètres parcourus, le type et tonnage de son véhicule, les moyens de manutention utilisés, l'origine et la destination du trajet et la nature du local où est chargée ou livrée la marchandise. Le cheminement du véhicule est décrit : l'itinéraire est tracé sur un fond de carte de l'agglomération, le nombre, l'emplacement et le temps des arrêts effectués au cours de la tournée, le kilométrage parcouru, le temps et le lieu de stationnement (PATIER et al., 2004).

Une enquête « transporteurs ». Les entreprises de transport les plus concernées auxquelles appartenaient les chauffeurs ont été interrogées. L'enquête est administrée en face à face. Elle décrit l'activité de l'entreprise (lot, messagerie, transport local, national, international, parc de véhicules, effectif), les schémas d'organisation de la chaîne de transport, les rythmes de livraisons (horaires, hebdomadaires, mensuels et annuels), le parc de véhicules affectés aux livraisons dans la ville, le mouvement des camions, le

nombre de livraisons et enlèvements ainsi que le nombre de tournées par jour, par tranche horaire, et type de véhicule. L'organisation de l'entreprise (localisation des plates-formes, chaînes logistiques par lesquelles les approvisionnements et enlèvements s'effectuent, nombre de tournées, nombre et type des véhicules impliqués) est également décrite.

3.2. *LA POPULATION DE RÉFÉRENCE DE L'ENQUÊTE*

Choix de la ville. Mener ce type d'enquête repose sur un engagement du responsable de la gestion du système de transport urbain. Dans le cas de la première enquête, la Communauté Urbaine de Bordeaux s'est fortement impliquée. Au sein d'un comité de pilotage, l'engagement de la collectivité, des chambres de commerce et de l'industrie et des associations professionnelles de transporteurs doit être acquis pour faciliter la promotion de l'enquête.

Choix du périmètre. Le périmètre d'étude est limité aux zones où la densité d'établissements par rapport à la voirie disponible est forte. C'est pourquoi le périmètre retenu a été celui de l'agglomération au sens de l'INSEE. Afin de permettre une correspondance avec des indicateurs démographiques et de déplacements de personnes, un zonage compatible avec celui de l'enquête déplacements auprès des ménages de Bordeaux a été retenu.

Choix de l'échantillon. La base de sondage utilisée pour effectuer le tirage de l'échantillon d'établissements à enquêter est extraite du registre d'établissements SIRENE (Système Informatique pour le Répertoire des ENtreprises et des Établissements) de l'INSEE. Les effectifs salariés des établissements publics (éducation nationale, collectivités, poste, hôpitaux) ne sont pas répertoriés dans les fichiers INSEE. Ils ont donc fait l'objet d'une étude particulière. Ces activités peu génératrices concentrent à elles seules 25 % des emplois de l'agglomération. Cela fait que 38 507 établissements parmi les 40 466 recensés dans l'agglomération bordelaise sont représentés par l'échantillon.

3.3. *LA MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE DES ÉTABLISSEMENTS*

Tout d'abord, ont été identifiés les types d'activités pour lesquelles l'hypothèse a été faite de l'existence d'une homogénéité des pratiques logistiques. Une typologie d'établissements qui combine les effets de l'activité, de la nature du local et de la taille de l'établissement a été constituée. A Bordeaux, où 1 500 établissements ont été enquêtés, 37 classes ont été distinguées selon les activités et la taille de l'établissement. Un échantillon d'établissements stratifié selon ces 37 classes a été constitué à partir du fichier SIRENE. Un tirage au énième sur le fichier trié par rue et par commune à l'intérieur de chaque strate a assuré une bonne couverture spatiale de chacune des strates. La nature de l'établissement (surface de vente, atelier, usine, dépôt), le nombre d'établissements dans l'entreprise et le statut (siège social ou non) ont été pris en compte afin de distinguer les unités de production des entrepôts et des établissements de bureaux.

La variance du nombre de livraisons et d'enlèvements par établissement expliquée par cette typologie est satisfaisante sur le plan statistique. Le rapport entre la variance calculée sur l'échantillon stratifié et la variance de ce même échantillon considéré comme aléatoire simple permet de mesurer l'effet de la stratification (Encadré 1). A Bordeaux, la précision sur l'estimation de la moyenne du nombre de mouvements est ainsi multipliée par 2,6.

Encadré 1 : Gain de précision obtenu par la stratification de l'échantillon (Bordeaux)

A Bordeaux, la moyenne pondérée selon les 37 strates du nombre moyen de mouvements générés par un établissement de l'échantillon s'élève à $\bar{X} = 7,44$ mouvements par semaine.

La variance de \bar{X} en tenant compte de la stratification est : $\sigma_s^2(\bar{X}) = 0,26$.

La variance de \bar{X} si l'échantillon est considéré comme aléatoire simple est : $\sigma_{sas}^2(\bar{X}) = 0,69$.

Le rapport entre les deux estimations nous donne une idée de l'influence de la stratification sur la précision des moyennes estimées : $\sigma_{sas}^2(\bar{X}) / \sigma_s^2(\bar{X}) = 2,6$.

3.4. LA MÉTHODE DE REDRESSEMENT

Le redressement consiste à affecter un coefficient de pondération à chaque entité mesurée sur l'échantillon, afin de permettre l'extrapolation des résultats calculés sur l'échantillon à la population entière. Nous décrivons ici les redressements effectués sur les deux échantillons de l'enquête : celui des établissements et celui des chauffeurs-livreurs. Une post-stratification en 72 classes a été réalisée pour construire des classes plus homogènes en termes de nombre de mouvements hebdomadaires.

Redressements sur les établissements. Le taux de sondage r_s de chaque post-strate s dans la population d'établissements de l'aire d'étude est aussi l'inverse du poids p_s dont il faut affecter chaque établissement de s pour obtenir par sommation le nombre total d'établissements de type s dans l'aire d'étude.

Les mouvements ont été relevés sur une semaine à l'aide d'un carnet de bord. Ainsi, le nombre hebdomadaire de mouvements M_s de véhicules générés par l'ensemble des établissements de la post-strate s est calculé comme suit :

$$M_s = \sum m_{se} \cdot p_s$$

où m_{se} est le nombre de mouvements générés par l'établissement e de la post-strate s .

Un certain nombre de mouvements n'ont pu être décrits correctement ou ont été oubliés. Il a donc été nécessaire d'effectuer des corrections au niveau de chaque établissement, afin de permettre une extrapolation des résultats issus des fiches décrivant chaque type de mouvement. En effet la somme des mou-

vements décrits sur les fiches sur une semaine était souvent inférieur au nombre de mouvements hebdomadaires déclarés ailleurs par le répondant. En moyenne, on a constaté un déficit de 20 % entre le nombre de mouvements obtenu par sommation des fréquences issues des fiches et le nombre de mouvements réellement réalisés. Le coefficient multiplicatif c_e à affecter aux caractéristiques des mouvements décrits dans les fiches pour les extrapoler à la population toute entière s'écrit alors :

$$c_e = m_{se} / \sum f_e$$

où f_e désigne le nombre de mouvements obtenus par la sommation des fréquences hebdomadaires des fiches opérations

Redressements sur les chauffeurs-livreurs. L'enquête chauffeurs résulte d'un tirage au troisième degré avec probabilités inégales. La probabilité de retour de la part des chauffeurs des établissements enquêtés est beaucoup plus forte que celle des professionnels du transport. Cette contrainte nécessite donc un calcul adapté en termes de redressement des résultats obtenus sur l'échantillon des chauffeurs afin de corriger les deux principaux biais que nous avons identifiés. Il s'agit :

- d'une part de la distorsion entre le nombre de mouvements générés par les différents types d'activité des établissements touchés par les chauffeurs et le nombre de mouvements générés par l'ensemble des fiches mouvements décrites dans l'échantillon des établissements, pour chaque mode de gestion ;
- d'autre part, de la différence significative entre le taux de retour des questionnaires, selon l'appartenance ou non du chauffeur à l'établissement enquêté.

Aussi, nous avons effectué le redressement selon le type d'activité de l'établissement visité a (industrie, artisanat, commerce de gros, commerce de détail, grands magasins, artisanat, agriculture) et son mode de gestion g en 5 classes (en compte propre (c.p.) destinataire effectué par l'établissement, en c.p. destinataire non effectué par l'établissement, en c.p. expéditeur effectué par l'établissement, en c.p. expéditeur non effectué par l'établissement, en compte d'autrui).

Le poids en nombre de parcours d'un chauffeur de type (g,a) s'écrit :

$$r\text{-parc}(g,a) = Nbmvt(g,a) / Nbmvp\text{arc}(g,a)$$

où $Nbmvt(g,a)$ est le nombre redressé de mouvements calculé à partir du fichier des établissements pour chaque type (g,a) dans l'agglomération et $Nbmvp\text{arc}(g,a)$ désigne le nombre total d'arrêts des parcours des chauffeurs de type (g,a) dans l'échantillon.

Le poids en nombre de mouvements d'un chauffeur de type (g,a) dans la population totale s'écrit ainsi :

$$r\text{-chauf} = r\text{-parc}(g,a) * nbstop$$

avec $nbstop$ le nombre d'arrêts de la tournée d'un chauffeur de type (g,a) .

De plus, les mouvements réalisés dans une tournée constituent statistiquement une grappe. La précision dans la caractérisation des tournées est donc soumise à un effet de grappes.

Traitement des non-réponses. Dans un premier temps, nous avons calculé les profils des variables descriptives des mouvements et des tournées, selon leurs coefficients de redressement respectifs. Lorsque les profils des variables de redressement sur les non-réponses de ces variables ne différaient pas significativement des profils de la population totale, les pourcentages obtenus ont été affectés au nombre total de mouvements redressés, afin d'obtenir des quantités interprétables à l'échelle de l'agglomération.

3.5. ADMINISTRATION DES ENQUÊTES

3.5.1. La méthode de Bordeaux

Les établissements. Afin d'obtenir une estimation statistique des variables essentielles à l'intérieur de chaque strate, un nombre de 30 établissements par strate a été assuré. 1 500 établissements ont été enquêtés. Chacun a fourni en moyenne 4,5 fiches concernant autant de types de mouvements (6 600 fiches) effectués par un opérateur de transport différent. Les mouvements qui n'ont pas été réalisés lors de la semaine d'enquête mais effectués régulièrement ont été décrits sur des fiches dites fictives (en moyenne, une fiche par établissement). Les doubles comptes ont été corrigés. La nature des produits et le cheminement de chaque envoi d'un mouvement ont été décrits dans 8 300 lignes de produits. Une majorité des mouvements est donc composée d'un seul envoi.

Les chauffeurs. 6 000 questionnaires ont été remis aux chauffeurs-livreurs par les établissements enquêtés. 925 d'entre eux ont été retournés par la poste, ce qui représente 17 % des questionnaires remis aux chauffeurs par les établissements. 903 questionnaires ont été validés et ont pu être reliés à l'établissement enquêté.

Les transporteurs. Parmi les entreprises de transport qui sont intervenues le plus fréquemment auprès des établissements, 69 ont fait l'objet d'une enquête spécifique. Ces dernières ont réalisé 80 % des livraisons ou enlèvements pour compte d'autrui. La description qu'ils ont faite de leur organisation logistique est donc bien représentative de la totalité du compte d'autrui à Bordeaux.

4. LES DIFFÉRENTES ÉTAPES ET LES RÉSULTATS OBTENUS

4.1. LA GÉNÉRATION DES MOUVEMENTS

Afin d'obtenir des estimations non biaisées du nombre de mouvements générés dans l'agglomération lors de la semaine d'enquête, nous avons pondéré chaque établissement par le rapport entre le taux de sondage dans sa strate et le taux de sondage global (3,8 % en moyenne). On obtient ainsi des moyennes pondérées du nombre de mouvements générés par les établissements selon leurs caractéristiques sur lesquelles nous avons effectué les tests d'analyse de la variance avec un nombre de degrés de liberté du même ordre que la taille de l'échantillon. Les éléments les plus significatifs de la génération des mouvements sont essentiellement relatifs à la taille et à la nature de l'activité de l'établissement (Tableau 1). La présence d'aménagements pour le chargement et le déchargement des marchandises ou la nature des lieux de

stationnement disponibles (possibilités de parking, privé, public, payant...) sont également liées à la génération des mouvements en raison notamment de leur dépendance structurelle avec l'activité et la taille des établissements.

Tableau 1 : Les caractéristiques des établissements significativement liées à la génération des mouvements

Caractéristiques des établissements	Nb. de classes	Probabilité critique
Classes d'activités	28	<1 ‰
Types d'activités	7	<1 ‰
Effectif salarié	14	<1 ‰
Chiffre d'affaires	9	<1 ‰
Aménagements	2	<1 ‰
Lieux de stationnement	5	<1 ‰

Si l'on se concentre sur l'exemple de Bordeaux (1995), on observe qu'une forte corrélation du nombre de mouvements par emploi avec la taille de l'établissement existe, quelle que soit la strate de l'échantillon. Aussi, cette typologie a pu être affinée par une post-stratification en classes plus homogènes vis-à-vis du nombre de mouvements générés par emploi tout en conservant un effectif statistiquement acceptable. 72 post-strates ont ainsi été constituées, sur la base d'une analyse de la variance du nombre de mouvements par emplois suivant les deux critères de classes d'effectif salarié et de strate d'activité. Alors que la variance du nombre de mouvements par établissement expliquée par les 37 strates est de 30 %, celle de la post-stratification s'élève à 55 %.

Le Tableau 2 présente un extrait des 72 post-strates. Les deux dernières colonnes présentent un résultat essentiel de l'enquête, le nombre moyen de mouvements (livraisons ou enlèvements) réalisés chaque semaine pour un emploi et par établissement de chaque post-strate. Quatre types de situations particulières ont également été identifiés à Bordeaux (Tableau 3).

Au delà de ces résultats désagrégés, l'enquête a montré qu'en 1995, 270 000 livraisons ou enlèvements sont réalisés chaque semaine dans l'agglomération. Le nombre moyen de livraisons ou enlèvements par semaine pour un emploi est de 1,1. Sur l'ensemble des mouvements, la part des livraisons (incluant les livraisons et enlèvements conjoints) est de 61 %. 56 % des livraisons et enlèvements sont réalisés en compte-propre. 52 % le sont en véhicules légers (<3,5 T) et 75 % le sont lors de tournées qui représentent 25 % des parcours réalisés par les véhicules de livraison. Les petits établissements (<5 emplois) en réalisent 50 % tandis que la part du commerce de détail atteint 33 %.

Tableau 2 : Les post-strates calculées sur Bordeaux (extrait)

Secteur d'activité (8 classes)	Libellé du type	Tranche d'effectif salarié	Nombre moyen de livraisons et enlèvements par semaine pour un emploi par établ.	
Petit commerce	Boulangeries, Pâtisseries	aucun	6,9	11
""	""	1 ou 2	3,6	8
""	""	3 à 5	2,4	11
""	""	6 et +	1	20
""	Cafés, Hôtels, Restaurants	aucun	3,6	5
""	""	1 ou 2	2,7	9
""	""	3 et +	1,15	24
""	Commerce d'ameublement	aucun	2,6	5
""	""	1 à 5	1,3	4
""	""	6 et +	0,4	16
""	Commerce Non Sédentaires	aucun	4,9	5
""	""	1 ou +	3,25	10
""	Épiceries, Alimentation	aucun	5,3	8
""	""	1 ou +	1,7	10
""	Librairies Papeteries	aucun	8,2	10
""	""	1 ou 2	6,7	11
""	""	3 à 5	3,8	14
""	""	6 et +	0,5	9

Tableau 3 : Les activités spécifiques ou rares identifiées sur Bordeaux

Secteur d'activité (8 classes)	Libellé du type	Tranche d'effectif salarié	Nombre moyen de livraisons et enlèvements par semaine pour un emploi par établ.	
Entrepôts	Docks des Pétroles	-	44,6	1 872
Entrepôts	Silos agricoles	-	70	840
Mines / carrières	Carrières (faible activité)	1 à 5	2,3	7
Mines / carrières	Carrières (forte activité)	6 et +	70	650

4.2. L'ORGANISATION ET LES FLUX

La taille moyenne d'une tournée est de 13 positions (19 positions en compte d'autrui, 11 en compte propre expéditeur, 5 en compte propre destinataire). Plus généralement, pour chaque type d'activité, chaque type de véhicule (VUL <3,5 T, camions porteurs, ensembles articulés), chaque mode de gestion (compte d'autrui, expéditeur, destinataire), chaque mode d'organisation (trace directe, tournées de différentes tailles), les nombres de livraisons ou enlèvements ont été calculés.

L'analyse des parcours décrits par les chauffeurs a permis de calculer des indicateurs utiles pour l'évaluation de l'occupation de la voirie :

- le nombre de kilomètres parcourus chaque semaine par les différents

types de véhicules dans l'agglomération, ainsi que le nombre moyen de km parcourus par livraison (8 km à Bordeaux, 6 km à Marseille, 4 km à Dijon). Ces résultats ont permis de montrer la corrélation entre la taille et la densité de la ville avec les distances moyennes parcourues.

- le nombre d'heures de stationnement pour livraison (avec une précision sur le stationnement en double file). 80 % des livraisons étaient réalisées en moins de 10 minutes. Dans le centre de Bordeaux, et pour un jour ordinaire, la durée totale de stationnement en double file était deux fois supérieure à la durée de circulation de l'ensemble des véhicules de livraison.

4.3. LA PLACE DU TMV DANS LE TRAFIC URBAIN

Des enquêtes et études complémentaires à ces grandes enquêtes ont permis de mesurer la part des différentes composantes du transport de marchandises en ville (en EVP*km¹). Avec cette unité de mesure, les échanges entre établissements (livraisons et enlèvements) génèrent 40 % de l'ensemble des trafics de marchandises en ville, les déplacements d'achats motorisés 50 % et ceux réalisés pour la gestion urbaine (chantiers, réseaux...) 10 %. Selon cette définition, la part du transport de marchandises en ville dans l'ensemble du trafic motorisé est de 9 à 13 % des déplacements, de 13 à 20 % des véhicules*km et de 15 à 25 % des EVP*km.

Les enquêtes ont montré que le transport de marchandises en ville représente donc non seulement un enjeu quantitatif important (plus de 20 % de la consommation énergétique du transport urbain motorisé, plus du tiers des NOx et du SO2, près de la moitié des émissions de particules ; SEGALOU et al., 2006) mais aussi un enjeu économique majeur relativement à l'accessibilité et la vitalité des zones centrales, la congestion et l'étalement des activités.

4.4. LES RÈGLES DE FONCTIONNEMENT DE LA LOGISTIQUE URBAINE

Une des principales contributions des enquêtes est la mise en évidence des règles de fonctionnement de la logistique urbaine (liens entre activités, mode d'opération et de gestion des déplacements, types de véhicules utilisés, distance parcourue, nombre d'établissements desservis, temps de parcours, lieu, période et durée de stationnement).

Le nombre de livraisons et enlèvements, le mode de gestion et d'organisation sont directement liés au type d'activité. Les relations suivantes ont été mises en évidence entre :

- le mode de gestion et le mode d'organisation (le compte propre destinataire opère davantage en trace directe, les professionnels réalisent des tournées) ;

¹ EVP : équivalent voiture particulière, soit 1 VUL = 1,5 EVP ; 1 Camion porteur = 2 EVP ; 1 ensemble articulé = 2,5 EVP.

- le type de véhicule et le mode de gestion (le compte propre utilise davantage les véhicules utilitaires légers, les transporteurs utilisent des camions) ;
- les distances parcourues et les modes de gestion et d'organisation (les tournées des transporteurs sont plus longues que celles du compte propre, mais desservent un nombre beaucoup plus important de positions) ;
- la distance parcourue entre 2 arrêts et la taille de la tournée (plus la tournée est longue, plus la distance entre 2 arrêts est courte) ;
- la durée de stationnement et la taille de la tournée (plus la tournée comporte d'arrêts, plus le temps d'arrêt est court).

Un très important résultat réside dans le fait que ces mêmes relations existent dans les trois villes enquêtées. La comparaison des résultats des trois enquêtes de transport de marchandises en villes françaises a montré une similarité notable en termes de diagnostic, concernant notamment le nombre de livraisons occasionnées par chaque type d'activité à l'intérieur de chaque classe d'activité, le nombre de livraisons réalisées selon le type de véhicules, la part du compte propre, la part des différents types de tournées. Cela montre bien que la structure économique et l'organisation logistique prévalent sur la taille et la géographie des villes.

Il a été ainsi possible de transférer les résultats de ces enquêtes à d'autres villes et de construire un modèle général applicable aux villes européennes et françaises.

4.5. *LES INDICATEURS*

Les indicateurs traditionnels des transports de marchandises de longue distance sont les tonnes transportées ou les tonnes*km, la quantité d'énergie consommée par tonne*km ou encore les kilomètres parcourus à vide. Pris tels quels, ils sont peu pertinents au niveau urbain. Par exemple, le gazole consommé par tonne*km est pertinent pour mesurer l'impact du transport de fret entre deux régions, notamment pour simuler un partage modal rail-route. En revanche, transporter une tonne de marchandise donnée dans la ville peut être réalisé de multiples façons (selon le nombre d'envois, la taille des véhicules, le nombre de colis), variété qui ne peut être appréhendée qu'à travers une étude approfondie de la génération des livraisons et des organisations correspondantes. Il en va de même de la mesure du retour à vide dont le calcul nécessite de connaître le diagramme de charge de chaque véhicule.

Le Tableau 4 montre la richesse des indicateurs qui peuvent être calculés grâce aux enquêtes « établissements-chauffeurs » sur les marchandises en ville.

Tableau 4 : Les indicateurs produits par les enquêtes TMV

Nom et description de l'indicateur	Unité de mesure de l'indicateur	Objet de l'indicateur et mesures permises :
Ratio de livraisons/enlèvements par emploi dans un secteur d'activité	Nombre de livraisons/enlèvements par semaine par employé	Rapide évaluation de la génération des livraisons/enlèvements dans la ville sans nouvelle enquête. La contribution de chaque secteur d'activité est calculable
Densité de livraisons/enlèvements dans une zone	Nombre de livraisons/enlèvements par semaine par km ²	Importance des flux de véhicules de marchandises dans une zone
Intensité de livraisons/enlèvements d'un secteur d'activité dans une zone	Nombre de livraisons/enlèvements par semaine	Contribution de chaque secteur d'activité au trafic de marchandises en ville par zone
Durée de livraisons/enlèvements en double file pour livrer ou enlever un secteur d'activité dans une zone	Nombre d'heures	Contribution de chaque secteur d'activité à la congestion de la voirie par le stationnement sur voirie en double file par zone
Distance moyenne parcourue pour livrer ou enlever un secteur d'activité avec un type de véhicule	Nombre de km	Contribution des différents types de véhicules qui livrent chaque secteur d'activité à la congestion de la voirie
Longueur de la marche d'approche de la plate-forme au lieu de livraison	Nombre de km	Impact du lieu d'implantation de la plate-forme livrant les produits concernant son aire de marché
Distance moyenne nécessaire pour livrer/enlever	Km par livraisons/enlèvements	Contribution des livraisons/enlèvements au trafic urbain (par type de véhicule impliqué)
Distance totale parcourue dans l'aire urbaine par les véhicules de marchandises	Véhicules*km par semaine	Contribution de l'activité totale à la génération du trafic motorisé urbain
Durée moyenne d'une livraison/enlèvement (par secteur d'activité, type de véhicule, mode de gestion)	Minutes par livraison	Temps de livraison lors d'un parcours, sur la route, pour un secteur d'activité, un type de véhicule, un mode de gestion
Vitesse moyenne par tournée (comprenant ou excluant les arrêts pour livrer)	Km/h	Performance des tournées pour chaque mode d'organisation, type de véhicule
Poids transporté au kilomètre par trajet selon le secteur d'activité, le type de véhicule, le mode de gestion	Tonne (ou kg)*km	Performance des tournées pour chaque mode d'organisation, type de véhicule...
Consommation d'énergie, pollution, effet de serre selon la zone, le véhicule, l'activité, le mode de gestion (totale ou par mouvement)	- tonnes de gazole - kg polluant (Nox, SO ₂ , CO, PM,...) - kg CO ₂	Impact des mouvements de marchandises sur la consommation d'énergie, les nuisances locales et globales et les gaz à effets de serre

Comme indiqué dans la troisième colonne, chaque indicateur contribue à un diagnostic complet du transport urbain de marchandises et aide à mesurer l'implication des différents secteurs d'activité dans les mouvements de marchandises en ville et apporte de précieuses informations sur la part des modes de gestion (compte propre, compte d'autrui) et d'organisation (taille des véhicules, taille des tournées). Cette méthode d'enquête a permis de construire un outil prometteur pour améliorer la connaissance des liens entre les besoins d'échanges de marchandises des activités économiques entre elles et le système de transport à l'échelle de la ville, tout en incluant les principaux composants d'une évaluation environnementale.