



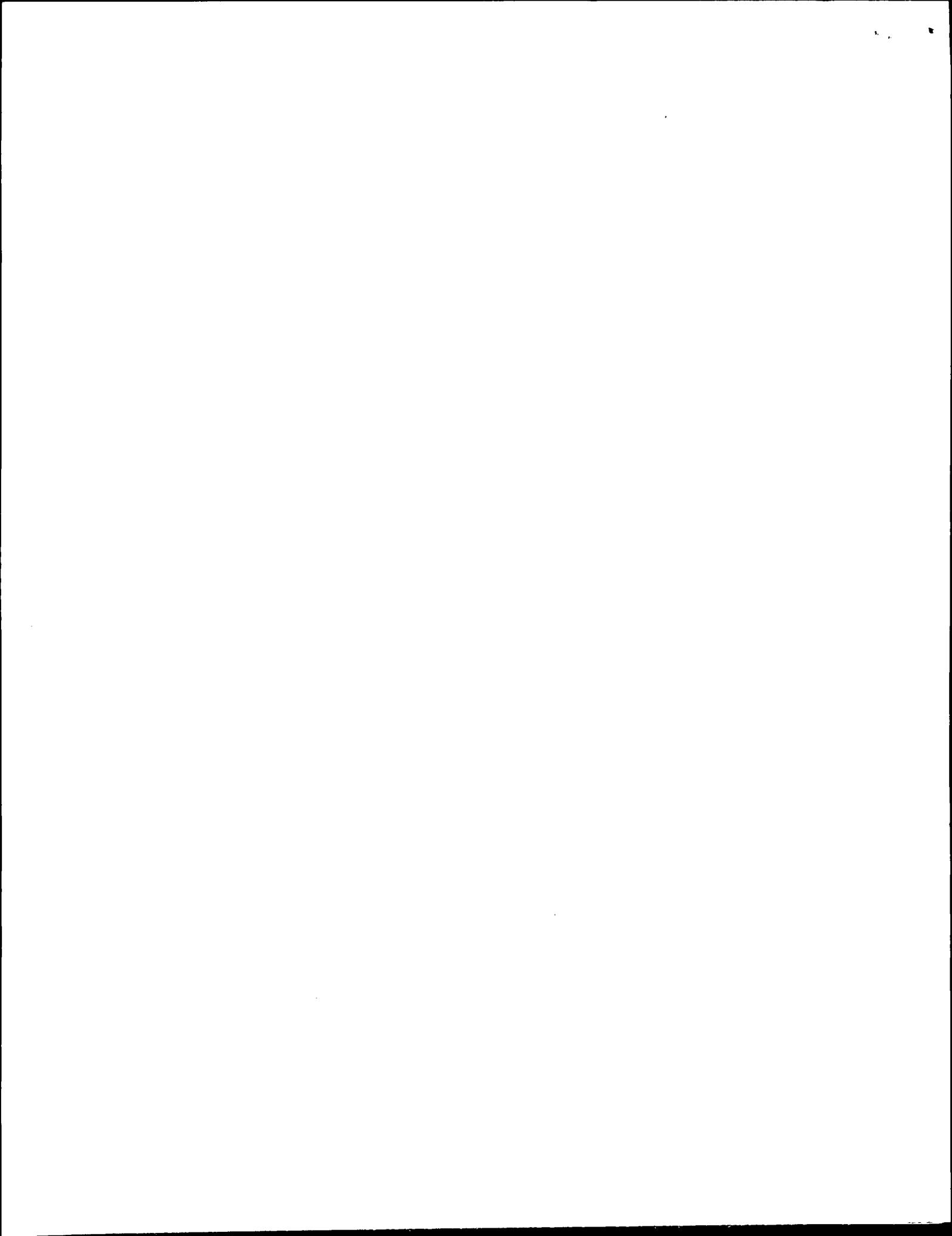
**CAHIERS  
D'ÉTUDES**

---

*Cahier d'Études N° 66  
Avril 1985*

**ESTIMATION DU VOLUME DE  
CIRCULATION DANS L'ENSEMBLE  
DES AGGLOMÉRATIONS DE PLUS  
DE 20 000 HABITANTS ET  
 DÉTECTION DE SON ÉVOLUTION.**

**CDAT  
15062**



**ESTIMATION DU VOLUME DE CIRCULATION DANS L'ENSEMBLE  
DES AGGLOMÉRATIONS DE PLUS DE 20 000 HABITANTS ET  
DéTECTION DE SON ÉVOLUTION**

**M.A. CAMBOIS  
H. FONTAINE**

L'ORGANISME NATIONAL DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE  
*est une association ayant pour objet de procéder aux études  
et recherches de toutes natures sur les accidents de la circulation  
routière et sur les mesures destinées à accroître la sécurité  
de cette circulation, ainsi que de promouvoir toutes activités  
ayant le même objet. Les Ministères intéressés à la sécurité  
routière sont représentés dans son Conseil d'Administration.*

*Président : E. BIDEAU*

*Directeur : J. Moreau de St Martin*

*Les bulletins peuvent être reproduits librement sous réserve que l'origine :  
« Cahiers d'Études de l'Organisme National de Sécurité Routière »  
soit mentionnée.*

*Siège social et Administration .*

*2, avenue du Général-Malleret - Joinville, 94114 Arcueil Cédex.*

## SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION .....	1
I – ESTIMATION D'UN INDICATEUR GLOBAL DE LA CIRCULATION .....	2
I-1. Développement de la méthode .....	2
I-1.1. Utilisation du Répertoire Géographique Urbain (RGU) .....	2
comme base de sondage	
I-1.2. Le type de sondage .....	3
I-1.3. La stratification .....	4
I-1.4. Choix de l'estimation .....	6
I-1.5. Dimensionnement de l'échantillon .....	8
I-1.5.1. Expression simplifiée de la variance de l'estimateur .....	8
I-1.5.2. Origine des données nécessaires au calcul de la .....	11
variance et au dimensionnement	
I-1.5.3. Détermination de la taille de l'échantillon et de sa .....	14
répartition dans les strates	
I-2. Modalités et compte-rendu de l'enquête .....	16
I-2.1. Modalités de l'enquête .....	16
I-2.2. Compte-rendu du déroulement de l'enquête .....	17
I-2.2.1. Taux de réponse .....	17
I-2.2.2. Dates de comptage modifiées .....	18
I-2.2.3. Débits nuls .....	18
I-3. Principaux résultats obtenus .....	18
I-3.1. Estimation des véhicules x kilomètres parcourus .....	19
I-3.1.1. Résultat global .....	19
I-3.1.2. Résultats par sous-ensembles .....	21
I-3.2. Estimation des débits .....	22

<b>II – ESTIMATION DE L'EVOLUTION DE LA CIRCULATION</b> .....	<b>25</b>
<b>II-1. Méthode</b> .....	<b>25</b>
<b>II-1.1. Principe et intérêt du panel pour détecter une évolution</b> .....	<b>25</b>
<b>II-1.2. Dimensionnement à partir des données disponibles sur six mois</b> .....	<b>28</b>
<b>d'enquête et répartition dans les strates</b>	
<b>II-2. Modalités et comptes-rendus des enquêtes « panel »</b> .....	<b>30</b>
<b>II-3. Résultats des deux premières années du panel</b> .....	<b>32</b>
<b>II-3.1. Evolution de la circulation entre « Mars 80 – Février 81 »</b> .....	<b>32</b>
<b>et « Mars 81 – Février 82 »</b>	
<b>II-3.2. Evolution de la circulation entre « Mars 81 – Février 82 »</b> .....	<b>32</b>
<b>et « Mars 82 – Février 83 »</b>	
<b>II-3.3. Analyse de la corrélation des véhicules x kilomètres</b> .....	<b>34</b>
<b>II-4. Suite de l'enquête</b> .....	<b>35</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>35</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>37</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>39</b>

## RESUME

Pour répondre à un besoin de statistiques dans le domaine du trafic urbain, un outil a été mis au point afin d'évaluer le volume global de la circulation dans les agglomérations de plus de 20 000 habitants, l'agglomération parisienne étant exclue, et d'en détecter les évolutions au cours du temps. Une étude méthodologique a été entreprise afin de comparer différents procédés d'estimation des véhicules x kilomètres, et de mettre en oeuvre le plus efficace. Ainsi, de Mars 1980 à Février 1981, s'est déroulée une campagne de comptages automatiques en 1 440 points pour lesquels le débit a été mesuré pendant 24 heures.

L'analyse des résultats a fait apparaître que 141 millions de véhicules x kilomètres ont été parcourus en moyenne chaque jour ouvrable de cette période sur le réseau des agglomérations de plus de 20 000 habitants (soit 41 550 km) ; ceci avec une précision de 10 %.

Afin de détecter les variations du trafic d'une année sur l'autre, l'enquête s'est poursuivie sous forme d'un panel où un tiers des points de comptage de l'échantillon est observé à nouveau dans les mêmes conditions (même type de jour, même semaine de l'année). Ainsi, nous avons pu observer qu'il n'y a pas eu d'évolution de la circulation urbaine des jours ouvrables entre la première année d'enquête (Mars 1980 à Février 1981) et la seconde (Mars 1981 à Février 1982) ceci dans une fourchette de  $\pm 3$  %. Par contre, une augmentation significative a été détectée au cours de la troisième année de comptage (Mars 1982 à Février 1983).

L'enquête "Panel" se poursuit en y ajoutant des comptages faits un samedi ou un dimanche, ce qui permettra lorsque les résultats sur deux années d'enquête de ce type seront disponibles, de connaître l'évolution de la circulation pour tous les jours de la semaine.

## SUMMARY

To meet the need for statistics on urban traffic, we devised a tool for assessing the total volume of traffic in urban areas of over 20,000 inhabitants, not counting the Paris area, and measuring changes over time. We conducted a methodological study to compare different techniques for calculating the number of vehicle x kilometers and to implement the most efficient. From March 1980 to February 1981, therefore, an automatic counting program was carried out at 1,440 points, where the flow of traffic over a 24-hour period was measured.

An analysis of the results showed that 141 million vehicle x kilometers had been travelled on average on each working day during the period on the road network in urban areas of 20,000 inhabitants or more (a network of 41,550 km altogether). That figure carries a margin of error of 10 %.

In order to observe changes in the volume of traffic from one year to the next, the survey was continued in the form of a panel in which one-third of the points included in the original sample were monitored again under the same conditions (same kind of day, same week of the year). We were thus able to establish that there was no change in urban traffic on working days between the first year of the survey (March 1980 to February 1981) and the second (March 1981 to February 1982), within a margin of error of  $\pm 3$  %. On the other hand, a significant increase was recorded during the third year of the survey (March 1982 to February 1983).

The "panel" survey is continuing and some points are now being counted on Saturdays and Sundays as well. That will enable the change in the volume of traffic on all days of the week to be determined, once the results of two years of this type of survey are available.

## INTRODUCTION

Dans le domaine de la circulation routière, il apparaît comme un objectif prioritaire de disposer d'informations précises concernant l'importance du trafic sur les différents réseaux routiers du territoire. Cette connaissance de la répartition de la circulation peut être utile à tous les niveaux, en particulier pour établir des comparaisons internationales ou bien pour effectuer des calculs de risques par réseaux après rapprochement des données correspondantes sur les accidents de la route.

Dans cet esprit il est apparu nécessaire de combler une lacune importante concernant la circulation sur le réseau urbain. Afin de mieux cerner la question, il semblait préférable, dans un premier temps de se limiter au réseau des agglomérations de plus de 20 000 habitants pour lequel il existe un recensement de la voirie facilitant l'approche du problème ; toutefois, la ville de Paris et la Région Parisienne, ayant déjà fait l'objet de plans de comptage de trafic, ont été exclues du domaine d'étude.

A la demande du CETUR, l'ONSER a donc mené une étude dont le but était d'évaluer le volume de circulation sur le réseau urbain précédemment défini et d'en suivre l'évolution au cours du temps. En effet, si l'évaluation en valeur absolue d'un tel indicateur paraît nécessaire, l'estimation de son évolution au cours du temps semble tout aussi indispensable pour savoir si l'évolution des accidents est le simple reflet de celle du trafic ou traduit au contraire une modification réelle des risques.

L'indicateur du volume de circulation a été défini comme étant la totalité des véhicules x kilomètres parcourus pendant un an sur le réseau des agglomérations de plus de 20 000 habitants (Région Parisienne exclue). Dans un premier temps, seule la circulation des jours ouvrables a été prise en compte.

Cet indicateur peut s'exprimer par la formule suivante si l'on considère la journée comme durée de base de comptage :

$$I = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N D_{ij} L_i$$

où :

- N est le nombre total de sections (une section est une portion de réseau comprise entre 2 intersections successives. Elle est supposée avoir un débit homogène d'une extrémité à l'autre).
- i est l'indice de la section.
- j est l'indice du jour de comptage.
- $D_{ij}$  est le débit mesuré pendant 24 heures le jour j sur la section i.
- $L_i$  est la longueur de la section i.
- J est le nombre de jours ouvrables de l'année d'enquête.

On a donc étudié un plan de mesures destiné à estimer cet indicateur, la précision souhaitée par le CETUR étant de 5 %.

Nous présentons ici le développement de la méthode utilisée, sa mise en oeuvre et les résultats obtenus au cours des trois premières années d'enquête.

## I - ESTIMATION D'UN INDICATEUR GLOBAL DE LA CIRCULATION

### I-1. Développement de la méthode

Un recensement du débit de toutes les sections du réseau étudié n'étant pas envisageable, le sondage est le procédé que nous avons retenu pour estimer cet indicateur.

Plusieurs questions se sont alors posées concernant :

- la base de sondage
- le type de sondage
- la stratification
- le choix de l'estimateur.

#### I-1.1. Utilisation du Répertoire Géographique Urbain (RGU) comme base de sondage

Le Répertoire Géographique Urbain est un fichier informatisé d'environ 360 000 segments (ou sections) de voies couvrant les 970 communes appartenant aux 220 unités urbaines de plus de 20 000 habitants (population du recensement de 1968).

Une unité urbaine est constituée d'une commune principale et de communes périphériques dans lesquelles le réseau recensé ne concerne que la zone dite "agglomérée" au sens INSEE (les habitations ne doivent pas y être distantes de plus de 200 mètres les unes des autres).

Chaque segment est identifié entre autre par les caractéristiques suivantes :

- . Le nom de l'unité urbaine.
- . Le numéro du département.
- . Le numéro de commune;
- . Le code voie associé au nom de la voie.
- . Les adresses gauches et droites.
- . La largeur moyenne entre façades.
- . Des coordonnées permettant de calculer sa longueur (si le segment est en courbe des points intermédiaires sont introduits).

Le répertoire géographique urbain tel qu'il est constitué représentait donc une base tout à fait appropriée au sondage que nous nous proposons d'effectuer.

### I-1.2. Le type de sondage

Le plan de sondage pouvait être établi de diverses façons. En particulier, il fallait définir le nombre de degrés et une éventuelle stratification aux différents niveaux.

Parmi les choix possibles, nous avons restreint notre analyse aux cas suivants :

- . Sondage à un degré stratifié : l'unité de sondage étant le segment de voie défini précédemment.
- . Sondage à deux degrés stratifié à chaque niveau : l'unité primaire étant l'agglomération et l'unité secondaire étant le segment de voie.

Comme il s'agissait d'effectuer des comptages de débit d'une durée de 24 heures\* en des points dispersés sur l'ensemble du territoire, le choix du type de sondage dépendait fortement du niveau de décentralisation des services pressentis pour effectuer ces mesures.

La solution la plus centralisée, où le point d'attache des équipes d'enquêtes se trouvait situé à Paris, a été exclue d'emblée comme étant beaucoup trop coûteuse. Une évaluation des coûts a été faite pour trois autres solutions possibles:

- Les 8 Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE).
- Les Directions Départementales de l'Equipement (DDE).
- Les services techniques des villes.

Les services techniques des villes n'ayant pas besoin d'effectuer d'importants déplacements pour les comptages, offraient la solution la moins coûteuse mais ce mode de recueil nécessitait une coordination très lourde et délicate si toutes les agglomérations devaient être enquêtées (cas du sondage à 1 degré). Par ailleurs, le coût d'un comptage effectué par un CETE s'est révélé prohibitif comparé à celui d'une DDE, dans la mesure où les déplacements étaient plus importants.

Pour une taille d'échantillon égale, le sondage à deux degrés donne généralement des résultats dont la précision est bien moindre que dans le cas d'un sondage à un degré. Toutefois, il présente l'avantage de réduire la dispersion des lieux de comptages des débits en enquêtant dans un nombre restreint d'agglomérations (unités primaires). Ceci ne pouvait présenter d'intérêt que dans le cas où les mesures étaient effectuées par les services techniques des villes. En effet, pour les DDE qui ne sont de toutes les façons pas sur place, il était indifférent de mesurer les débits échelonnés sur l'année à l'intérieur d'une même agglomération ou dans des agglomérations dispersées.

---

\* Cette durée de comptage en un point sera justifiée ultérieurement.

Pour évaluer la taille de l'échantillon et donc le coût pour une précision donnée on disposait d'informations provenant d'une part, d'une pré-enquête menée dans ce but au cours de l'année 1976 dans 3 villes (Blois, Rennes, Strasbourg) et d'autre part, pour 80 villes de documents intitulés "Indicateurs de Circulation" établis à la demande du CETUR à partir du dépouillement de photos aériennes prises un jour de l'année à l'heure de pointe du soir. Les unes permettaient d'estimer des coefficients de variation à l'intérieur d'une même ville, les autres des coefficients de variation d'une ville à l'autre.

La variabilité des débits d'une ville à l'autre s'est révélée telle que dans le sondage à deux degrés le nombre d'unités primaires nécessaires pour obtenir la précision souhaitée devenait trop élevé pour qu'il garde son intérêt. Il a donc été décidé de retenir le sondage à un degré en demandant aux DDE de faire les comptages.

### I-1.3. La stratification

La stratification a principalement pour objet d'améliorer la précision des estimations pour l'ensemble de la population. Son principe consiste à établir des classes de segments de voies dont les débits ont le même ordre de grandeur. Pour cela, il est nécessaire de disposer de critères de classification suffisamment liés au débit. Nous avons songé à utiliser des classifications du réseau déjà existantes ainsi que la largeur entre façades (largeur de la chaussée et des trottoirs) qui présentait l'avantage d'être disponible dans le RGU pour chaque segment de voie.

Des tentatives de classification fonctionnelle avaient déjà été faites (SETRA, CETE, SERES) ; parmi elles, on peut citer les suivantes :

- voirie primaire (grosse infrastructure)
- voirie secondaire (infrastructure moyenne)
- voirie tertiaire (desserte locale)
  
- centre urbain ) ventilés selon voies primaires et secondaires
- périphérie ) " " " " " "
- voie express
- voies autoroutières

et d'autres plus compliquées (CETE de BORDEAUX) :

- voies rapides
- grandes pénétrantes
- voies à large infrastructure
- réseau parallèle
- dessertes locales
- ronds-points, places.

Ce type de classification fondé sur un critère fonctionnel faisait intervenir une grande part de subjectivité dans son application et ne pouvait donc pas être utilisé de façon homogène d'une ville à l'autre. Il nous a semblé préférable de simplifier ce classement en retenant une distinction en deux strates plus grossière mais uniforme sur l'ensemble du territoire :

- Le réseau de transit à grande circulation (routes rouges sur les cartes Michelin au 1/200 000e également représentées en traversée d'agglomération).
- Son complémentaire.

La codification des voies des 220 agglomérations selon ce classement était plus facilement réalisable puisqu'il s'agissait de dresser à partir des plans des villes et des cartes Michelin, une liste des voies à grande circulation.

Pour affiner cette stratification on a voulu prendre en compte la largeur entre les façades pour chaque segment de voie c'est-à-dire la largeur de la chaussée à laquelle on ajoute celle des trottoirs. En effet, cette variable semblait a priori liée au débit.

On a donc examiné la corrélation entre le débit et la largeur entre les façades d'une voie pour les trois villes tests qui avaient fait l'objet d'une préenquête. Les valeurs des coefficients de corrélation se sont avérées beaucoup trop faibles pour que ce critère puisse être considéré comme pertinent pour la stratification ; il a donc été abandonné.

A cette distinction sur les types de voies, nous avons voulu ajouter une classification des agglomérations. Pour cela nous avons utilisé les résultats d'une étude menée auparavant dans le but de constituer une typologie des agglomérations à partir d'un grand nombre de variables pouvant être classées en 3 groupes :

- . variables d'infrastructure
- . variables socio-économiques
- . variables d'accidents.

Du fait de la complexité des données utilisées, aucune classification simple de ces agglomérations n'a pu être établie. Le critère classique de taille en population de l'agglomération a alors été retenu en dernier recours car il présentait l'avantage d'être facilement utilisable et d'avoir une incidence quasi certaine sur la circulation.

Nous avons choisi quatre groupes d'agglomérations correspondant à une classification de l'INSEE :

- agglomérations de 20 000 à 50 000 habitants ;
- " de 50 000 à 100 000 habitants ;
- " de 100 000 à 200 000 habitants ;
- " de plus de 200 000 habitants.

Le tableau ci-dessous indique le nombre de segments de voies et la longueur totale du réseau pour les 8 strates précédemment définies.

N° de strate	Catégorie d'agglomération	Type de réseau	N <sub>h</sub> Nb total de sections	L <sub>h</sub> Long. totale du réseau en km	L̄ <sub>h</sub> Long. moyenne des sections en km
1	Plus de 200 000 hab.	Transit	8 309	1 231	0,148
2	100 000 à 200 000 hab.	Transit	5 697	644	0,113
3	50 000 à 100 000 hab.	Transit	5 642	635	0,113
4	20 000 à 50 000 hab.	Transit	7 879	868	0,110
5	Plus de 200 000 hab.	Hors transit	127 579	14 742	0,116
6	100 000 à 200 000 hab.	Hors transit	63 839	7 476	0,117
7	50 000 à 100 000 hab.	Hors transit	56 457	6 467	0,115
8	20 000 à 50 000 hab.	Hors transit	82 184	9 487	0,115
TOTAL			357 586	41 550	

#### I-1.4. Choix de l'estimation

Rappelons que l'indicateur à estimer représente la totalité des véhicules x kilomètres parcourus pendant un an, les jours ouvrables, sur le réseau des agglomérations de plus de 20 000 habitants (Région Parisienne exclue).

$$I = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N D_{ij} L_i \quad (\text{voir les notations page 2})$$

L'unité de sondage est la "section x jour ouvrable" : section comptée pendant une durée de 24 heures en semaine. Cette durée de comptage, fixée à 24 heures, provient des résultats d'une étude menée pour le U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration en Septembre 1974 [1]. Une durée de comptage au moins égale à 24 heures permet d'éviter les variations horaires du débit au cours de la journée. D'autre part, une analyse des variations journalières a permis de conclure que des comptages de 2, 3 ou 5 jours apportaient en fait peu de gain en précision relativement au coût d'immobilisation du compteur.

Nous avons comparé l'efficacité de trois estimateurs possibles :

- Estimation par la moyenne arithmétique (tirage des sections avec probabilités égales)

$$Y_{eg} = \frac{M}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij(i)} L_i$$

avec : M = NxJ nombre de "sections x jours ouvrables"

n = taille de l'échantillon.

$d_{ij}(i)$  = débit de la section  $i$  le jour  $j$  ( $i$ )

$l_i$  = longueur de la section  $i$

Ceci revient à estimer une moyenne de véhicules x kilomètres parcourus par "section x jour" et à multiplier par le nombre total de "sections x jours".

- Estimation par le quotient (tirage des sections avec probabilités égales)

$$y_q = JL \frac{\sum_{i=1}^n d_{ij}(i) l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$$

$L$  étant la longueur totale du réseau. Cela représente une moyenne des véhicules x kilomètres journaliers par kilomètre multipliée par la longueur totale du réseau et par le nombre de jours ouvrables.

Cet estimateur présente un biais que l'on peut considérer comme négligeable dès que la taille de l'échantillon est suffisamment grande.

- Tirage des sections avec une probabilité proportionnelle à leur longueur

$$y_{in} = \frac{JL}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}(i)$$

Ceci revient à tirer des points au hasard uniformément sur le réseau, à les compter un jour au hasard et à faire une moyenne arithmétique des débits observés, pondérés par la longueur totale du réseau et par le nombre de jours ouvrables.

Dans le cas de l'estimation par le quotient et du tirage des sections avec des probabilités inégales, on utilise une donnée supplémentaire : la longueur des sections, qui est disponible pour chacun des segments du RGU. Les estimateurs sont d'autant plus efficaces que la variable supplémentaire utilisée est fortement corrélée avec la variable que l'on cherche à estimer. On peut supposer ici que pour l'ensemble des sections la longueur et les véhicules x kilomètres sont corrélés positivement.

La comparaison des variances de chacun de ces estimateurs a permis d'établir une hiérarchie probable entre eux compte tenu de leur efficacité. Ceci se traduit par l'inégalité suivante :

$$\text{Variance } (y_{eg}) > \text{Variance } (y_{in}) > \text{Variance } (y_q)$$

(voir la démonstration dans le rapport [6] pages 11 à 22)

On a donc retenu ici l'estimation par le quotient, le biais en résultant pouvant être considéré comme négligeable au regard de la précision.

### 1-1.5. Dimensionnement de l'échantillon

L'objet du dimensionnement est de déterminer la taille globale de l'échantillon des comptages à effectuer et leur répartition à l'intérieur des strates précédemment définies. On peut énoncer deux principes simples :

- Plus la taille de l'échantillon est grande, meilleure est la précision (l'erreur relative de l'estimation est inversement proportionnelle à la racine carrée de la taille de l'échantillon).
- La répartition de l'échantillon sera d'autant plus efficace (en terme de précision) que les strates à forte variabilité du débit auront proportionnellement plus de comptages que des strates aux débits plus homogènes.

Nous allons maintenant présenter les différentes étapes permettant d'aboutir à la description de l'échantillon.

#### 1-1.5.1. Expression simplifiée de la variance de l'estimateur

Rappelons que l'estimateur par le quotient prend la forme suivante compte tenu de la stratification :

$$y_q = \sum_{h=1}^8 y_{qh}$$

où  $y_{qh}$  est l'estimation par le quotient des véhicules x kilomètres de la strate h ;

la sommation se fait sur les 8 strates prévues :

$$y_{qh} = JL_h \frac{\sum_{i_h=1}^{n_h} d_{i_h j(i_h)} l_{i_h}}{\sum_{i_h=1}^{n_h} l_{i_h}}$$

Cette formule est celle de la p. 7 ; les mêmes notations sont reprises ici avec l'indice h caractérisant la strate ; ainsi par exemple  $L_h$  représente la longueur totale du réseau de la strate h. Par ailleurs, précisons que les majuscules concernent les statistiques de la population totale, et les minuscules celles de l'échantillon.

La variance de cet estimateur peut s'écrire ainsi :

$$V(y_q) = \sum_{h=1}^8 V(y_{qh})$$

avec :

$$V(y_{qh}) = JN_h (JN_h - n_h) \frac{1}{n_h} \left[ V_h(y) - 2 \frac{\bar{Y}_h}{\bar{L}_h} \text{Cov}_h(y, l) + \frac{\bar{Y}_h^2}{\bar{L}_h^2} V_h(l) \right]$$

où :

- $N_h$  est le nombre total de sections de la strate h
- $n_h$  est la taille de l'échantillon de la strate h
- $V_h(y)$  la variance des véhicules x kilomètres dans la strate h

$$V_h(y) = \frac{1}{N_h} \sum_{i_h=1}^{N_h} (Y_{ih} - \bar{Y}_h)^2$$

- $Y_{ih} = D_{ih} L_{ih}$  ( $L_{ih}$  et  $D_{ih}$  étant respectivement la longueur et le débit de la section  $i_h$ )

$$\bar{Y}_h = \frac{1}{N_h} \sum_{i_h=1}^{N_h} D_{ih} L_{ih}$$

- $\bar{L}_h$  est la longueur moyenne des sections de la strate h

$$\bar{L}_h = \frac{1}{N_h} \sum_{i_h=1}^{N_h} L_{ih}$$

- $\text{Cov}_h(y, l)$  est la covariance des véhicules x kilomètres et de la longueur dans la strate h

$$\text{Cov}_h(y, l) = \frac{1}{N_h} \sum_{i_h=1}^{N_h} (Y_{ih} - \bar{Y}_h) (L_{ih} - \bar{L}_h)$$

- $V_h(l)$  est la variance de la longueur dans la strate h

$$V_h(l) = \frac{1}{N_h} \sum_{i_h=1}^{N_h} (L_{ih} - \bar{L}_h)^2$$

Pour pouvoir dimensionner l'échantillon, il faut disposer d'évaluation même grossière de chacun des termes de la variance. Or, aucune donnée ne nous permettait d'estimer  $V_h(y)$  variance des véhicules x kilomètres et  $\text{Cov}_h(y, l)$  covariance des véhicules x kilomètres et de la longueur.

Nous avons donc cherché à exprimer cette variance à l'aide de termes ne faisant intervenir que des statistiques simples de la longueur et du débit.

Nous n'avons pas fait apparaître ici les détails des calculs intermédiaires ; ils figurent dans le rapport "Constitution d'un indicateur de circulation urbaine" paru en Décembre 1977 [6].

Dans l'expression de la variance nous avons remplacé  $V_h(y)$  et  $Cov_h(y,l)$  par :

$$- v_h(y) = \bar{L}_h^2 v_h(d) + \bar{D}_h^2 v_h(1) + 2 \bar{D}_h \bar{L}_h Cov_h(d,1)$$

$$- Cov_h(y,1) = \bar{D}_h v_h(1) + \bar{L}_h Cov_h(d,1)$$

Ces deux formules sont calculées en négligeant les termes du 3ème ordre.

La variance peut alors s'exprimer ainsi :

$$V(y_{qh}) = JN_h (JN_h - n_h) \frac{1}{n_h} [\bar{L}_h^2 v_h(d) + (\bar{D}_h - \frac{\bar{Y}_h}{\bar{L}_h})^2 v_h(1) + 2(\bar{D}_h - \frac{\bar{Y}_h}{\bar{L}_h}) \bar{L}_h Cov_h(d,1)]$$

Sous l'hypothèse d'indépendance entre débit et longueur qui entraîne l'égalité suivante :

$$\bar{Y}_h = \bar{D}_h \bar{L}_h$$

l'expression de la variance se réduit au 1er terme :

$$V(y_{qh}) = JN_h (JN_h - n_h) \frac{1}{n_h} \bar{L}_h^2 v_h(d)$$

Cette hypothèse qui nous semblait acceptable a priori, uniquement pour l'approximation de la variance, nous a permis d'éliminer de l'expression de la variance des termes que nous n'avions pas les moyens d'estimer.

Les calculs de corrélation entre débit et longueur qui ont été effectués après la première année d'enquête ont donné les résultats suivants qui vont dans le sens de ce que nous avons supposé.

Corrélation entre le débit et la longueur par strate

	Transit	Hors transit
+ 200 000 hab.	0.19	0.02
100 000 à 200 000 hab.	- 0.09	- 0.05
50 000 à 100 000 hab.	0.20	0.14
20 000 à 50 000 hab.	- 0.02	- 0.01

l-1.5.2. Origine des données nécessaires au calcul de la variance et au dimensionnement

La variance simplifiée de l'estimateur par le quotient  $y_q$  s'écrit ainsi :

$$v(y_q) = \sum_{h=1}^8 J^2 N_h^2 \frac{1}{n_h} \bar{L}_h^2 v_h(d)$$

ceci en approchant le terme d'exhaustivité  $(JN_h - n_h)$  par  $JN_h$ , puisque  $n_h$  est négligeable devant  $JN_h$ . Ce terme d'exhaustivité découle du tirage des sections sans remise.

a) Le répertoire géographique urbain a été traité de façon à classer les segments de voies suivant les 4 classes d'agglomérations et les deux types de réseaux qui formaient les 8 strates. On a ainsi pu calculer par strate le nombre total de segments  $N_h$  et la longueur du réseau  $L_h$  (et donc  $\bar{L}_h$  la longueur moyenne des segments).

b) Comme nous ne disposons pas d'un échantillon de comptage dans chaque strate réparti sur l'ensemble des agglomérations, qui nous aurait permis une évaluation directe de la variance, nous avons cherché à estimer des coefficients de variation du débit :

$$C_h^2(d) = \frac{v_h(d)}{\bar{d}_h^2}$$

qui peut s'exprimer en fonction de la variation des débits intervilles (d'une ville à l'autre) et intravilles (à l'intérieur d'une même ville).

$$C_h^2(d) = \frac{1}{\bar{d}_h^2} \sum_{a_h=1}^{A_h} \frac{n_{ah}}{n_h} [ v_{ah}(d) + (\bar{d}_{ah} - \bar{d}_h)^2 ]$$

avec :

$A_h$  = nombre d'agglomérations de la strate h

$a_h$  = indice de l'agglomération de la strate h

$n_{ah}$  = nombre de segments de l'agglomération  $a_h$

$v_{ah}(d)$  = variance du débit dans l'agglomération  $a_h$

$\bar{d}_{ah}$  = débit moyen de l'agglomération  $a_h$

$\bar{d}_h$  = débit moyen de la strate h

$$n_h = \sum_{a_h=1}^{A_h} n_{ah}$$

Le calcul du coefficient de variation intervilles découlait de la préenquête effectuée à Blois, Rennes et Strasbourg sur les 2 types de réseau avec des comptages d'une durée de 24 heures. Comme on ne disposait que de 3 villes pour 4 catégories d'agglomérations on n'a pas pu effectuer, comme cela apparaît dans la formule, de moyenne pondérée des variances intravilles dans chaque strate : la variance observée dans la ville a été utilisée telle quelle pour la strate correspondante. (Blois 47 000 habitants (1968) a été utilisée pour 2 strates).

Coefficient de variation intraville du débit

	Transit	Hors transit
+ 200 000 hab. (Strasbourg)	0.35	0.95
100 000 à 200 000 hab. (Rennes)	0.65	0.95
50 000 à 100 000 hab. (Blois)	0.40	0.95
20 000 à 50 000 hab. (Blois)	0.40	0.95

Les indicateurs de circulation établis pour 80 villes à partir du dépouillement de photos aériennes prises à l'heure de pointe nous ont permis de calculer des débits moyens "heure de pointe" dans chacune de ces villes (tous réseaux confondus). On a estimé ainsi la seconde partie de la variance (variance interville). Dans chaque strate l'estimation obtenue a servi pour les deux types de réseaux.

Coefficient de variation interville du débit

	Nombre de villes ayant servi à l'estimateur	Coefficient de variation interville du débit
+ 200 000 hab.	21	0.40
100 000 à 200 000 hab.	24	0.30
50 000 à 100 000 hab.	12	0.20
20 000 à 50 000 hab.	9	0.35

Dans les deux cas nous sommes passés par le calcul du coefficient de variation qui nous a permis de ne pas être gênés par les durées de base de comptages qui étaient différentes : 24 heures pour la préenquête et 1 heure à l'heure de pointe pour les indicateurs de circulation.

Le calcul du coefficient de variation final se fait aisément à partir de ces deux tableaux :

$$C_h^2 \text{ total} = C_h^2 \text{ intra} + C_h^2 \text{ inter}$$

Coefficient de variation total du débit

	Transit	Hors transit
+ 200 000 hab.	0.53	1.03
100 000 à 200 000 hab.	0.72	0.99
50 000 à 100 000 hab.	0.45	0.97
20 000 à 50 000 hab.	0.53	1.01

c) Afin d'établir le dimensionnement il était nécessaire d'avoir une estimation des débits par strate. Nous avons utilisé les indicateurs de circulation pour évaluer le débit moyen dans chacune des quatre catégories d'agglomérations.

Pour estimer les débits par type de réseau, les observations de la préenquête nous ont permis d'établir qu'en moyenne les débits de transit étaient environ 6 fois plus élevés que les débits hors transit :

$$\bar{d}_{\text{transit}} = 6 \bar{d}_{\text{hors transit}}$$

ce qui compte tenu de la relation :

$$\bar{d}_h L_h = \underbrace{\bar{d}_{hT} L_{hT}}_{\text{Transit}} + \underbrace{\bar{d}_{hHT} L_{hHT}}_{\text{Hors transit}}$$

nous autorise à estimer les débits des 8 strates. Cette étape était nécessaire pour connaître l'ordre de grandeur des variances dans chaque strate reconstituées à partir des évaluations des débits et des coefficients de variations.

Toutes les données qui ont servi au dimensionnement et qui apparaissent en grandeur absolue dans les calculs représentent des débits "heure de pointe".

### I-1.5.3. Détermination de la taille de l'échantillon et de sa répartition dans les strates

#### a) Méthode

Rappelons l'expression simplifiée de la variance, compte non tenu du terme d'exhaustivité :

$$V(y_q) = \sum_{h=1}^8 J^2 N_h^2 \frac{1}{n_h} \bar{L}_h^2 v_h(d)$$

Pour une taille de l'échantillon fixée :

$$n = \sum_{h=1}^8 n_h$$

il existe une répartition optimale de cet échantillon dans les strates, dans le sens où elle minimise la variance de  $y_q$ .

Cette répartition appelée répartition de Neyman (voir "Théorie et pratique des sondages" [2], page 145), suit les principes suivants dans notre cas : la taille de l'échantillon dans chaque strate est proportionnelle à la longueur totale du réseau et à l'écart type du débit dans cette strate ; ce qui se traduit par les égalités suivantes :

$$\frac{n_h}{n} = \frac{N_h \bar{L}_h \sigma_h(d)}{\sum_{h=1}^8 N_h \bar{L}_h \sigma_h(d)} \quad \text{avec} \quad \sigma_h(d) = \sqrt{v_h(d)}$$

La variance s'exprime alors sous la forme :

$$V(y_q) = \frac{1}{n} \left[ \sum_{h=1}^8 J N_h \bar{L}_h \sigma_h(d) \right]^2$$

Cochran "Sampling Techniques" [3] indique que l'on peut approcher l'estimateur  $y_q$  par une loi normale. L'estimation a donc 95 chances sur 100 d'appartenir à l'intervalle :

$$y_q \pm 2\sqrt{V(y_q)}$$

ce qui signifie que l'erreur relative  $\epsilon$  est égale à :

$$\frac{2\sqrt{V(y_q)}}{y_q}$$

et en mettant  $V(y_q)$  sous la forme  $V(y_q) = \frac{K^2}{n}$

avec :

$$K = \sum_{h=1}^8 J N_h \bar{L}_h \sigma_h(d)$$

on obtient :

$$\epsilon = \frac{2K}{y_q \sqrt{n}}$$

Une fois l'erreur relative fixée, et estimées les valeurs de  $y_q$  et de  $K$  on peut déterminer la taille  $n$  de l'échantillon :

$$n = \frac{4 K^2}{y_q^2 \epsilon^2}$$

### b) Application

Réseau	Strate h	Agglomération	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	$N_h \bar{L}_h \sigma_h(d)$	$N_h \bar{L}_h \sigma_h(d)$	$n_h$ au seuil de confiance de 95 %	Erreur relative $\epsilon_h$	
			Nombre de sections $N_h$	Longueur moyenne $\bar{L}_h$ en km	Débit moyen $\bar{d}_h$ Véh/heure de pointe	Coefficient de variation du débit $C_h$	Ecart type $\sigma_h(d)$					Longueur totale du réseau en km $L_h$
T												
R	+ 200 000 hab.		8 333	0,116	4 595	0,53	2 435	967	2 354 983	0,08	96	0,10
A	100 à 200 000 hab.		5 700	0,113	3 961	0,72	2 852	644	1 836 636	0,06	72	0,16
N	50 à 100 000 hab.		5 627	0,113	2 917	0,45	1 313	636	834 845	0,03	36	0,16
S	20 à 50 000 hab.		7 879	0,110	2 900	0,53	1 537	867	1 332 579	0,04	48	0,16
I	Total transit		27 539	0,113	3 787	0,56		3 114			252	0,07
T												
H R	+ 200 000 hab.		127 596	0,119	766	1,03	789	15 184	11 979 872	0,38	456	0,10
O A	100 à 200 000 hab.		63 846	0,116	660	0,99	653	7 406	4 839 080	0,16	192	0,14
R N	50 à 100 000 hab.		56 387	0,118	486	0,97	471	6 654	3 136 829	0,10	120	0,18
S S	20 à 50 000 hab.		82 150	0,118	483	1,01	488	9 693	4 728 536	0,15	180	0,15
I												
T	Total hors transit		329 979	0,118	631	1,01		38 937			948	0,10
	TOTAL		357 518		852			42 051	31 043 362		1 200	0,05

(1) Calculés à partir du RGU global

(2) Calculées à partir du RGU, exceptées 24 agglomérations sans longueurs

(3) -débit moyen total (852) obtenu à partir d'une moyenne pondérée par le nombre de sections des débits moyens dans les strates.

(4)  $\sigma_h(d) = \bar{d}_h \times C_h$

(5)  $L_h = N_h \bar{L}_h$

\* Les longueurs diffèrent légèrement de celles de la page 6, car elles ont été estimées à partir d'un RGU incomplet (les données sur les longueurs manquaient pour une dizaine d'agglomérations). Toutefois cela n'affecte pas l'essentiel des résultats).

Rappelons que le CETUR souhaitait une erreur relative  $\epsilon$  sur l'indicateur global ne dépassant pas 5 %. A partir de nos données, on évalue :

$$y = 42051 \times 852 = 35\,827\,452 \text{ véhicules} \times \text{kilomètres} \times \text{"heure de pointe"}$$

$$\epsilon \times y = 0,05 y = 1\,791\,373$$

$$n = \frac{4 K^2}{y^2 \epsilon^2} = 4 \left( \frac{31\,043\,362}{1\,791\,373} \right)^2 = 1\,200$$

En fait, nous avons prévu qu'un certain nombre de sections ne pourraient faire l'objet d'un comptage pour diverses raisons (compteur en panne, section non localisable, etc...). Pour compenser ces échecs il fallait surdimensionner l'échantillon de 20 % (ce taux a été estimé à partir d'une enquête analogue effectuée dans l'agglomération de Nancy. Voir [17]).

La dimension et la répartition de l'échantillon final sont données dans le tableau ci-après :

n	Transit	Hors transit	Total
+ 200 000 hab.	116	547	663
100 000 à 200 000 hab.	86	230	316
50 000 à 100 000 hab.	43	144	187
20 000 à 50 000 hab.	58	216	274
<b>TOTAL</b>	<b>303</b>	<b>1 137</b>	<b>1 440</b>

## I-2. Modalités et compte-rendu de l'enquête

### I-2.1. Modalités de l'enquête

Les Directions Départementales de l'Équipement ont été choisies pour effectuer la campagne de comptage. Le CETUR s'est chargé des contacts à établir.

Chaque DDE a reçu un exemplaire des bordereaux à remplir, une liste de points de comptages avec adresse et date (ces documents peuvent se consulter en annexes 1 et 2) ainsi qu'un document décrivant les modalités de comptages et de codage [7] selon les principes suivants :

- Le comptage doit toujours débiter à 0 heure et finir à 24 heures,

- Les compteurs doivent être réglés de façon que seuls les poids lourds et les véhicules légers soient enregistrés,
- Pour une section donnée la largeur totale de la chaussée doit être prise en compte (toboggan et souterrain compris s'il y a lieu).

De plus, des directives ont été données pour tous les problèmes pratiques pouvant se poser tels que les travaux sur la chaussée, la présence de neige s'accumulant sur le tuyau pneumatique, les configurations de chaussée rendant difficile voire impossible la pose d'un compteur (places, ronds-points, squares, etc...), et les pannes du compteur.

Enfin, des consignes précises ont été transmises pour la codification des bordereaux qui, une fois remplis, devaient être renvoyés au CETUR. Cette première campagne de comptages s'est déroulée entre le 1er Mars 1980 et le 28 Février 1981.

## I-2.2. Compte-rendu du déroulement de l'enquête

### I-2.2.1. Taux de réponse

Lors du dimensionnement de l'échantillon, nous avons prévu un taux de déchet de 20 % déduit d'une enquête similaire menée à Nancy. Ce qui nous a fait passer de 1 200 points à 1 440 points. Dans la liste des points tirés au hasard à partir du Répertoire Géographique Urbain on a trouvé 22 sections dont l'adresse n'était pas précisée. En conséquence, 1 418 adresses de comptages ont été envoyées à l'ensemble des DDE ; en retour nous avons obtenu 1 338 comptages exploitables, ce qui représente un taux de déchet de 7 % par rapport au niveau initial de 1440 points.

Les 102 points inexploitables, le sont pour les raisons suivantes :

- adresses non précisées dans le RGU :	22 points
- comptages non faits :	
. à cause de travaux permettant la circulation, mais empêchant la pose d'un compteur	8 points
. infrastructure empêchant la pose d'un compteur (en particulier problème des places)	35 points
. autres raisons (souvent la rue n'existe plus)	27 points
- comptages non reçus :	10 points
	102 points

### 1-2.2.2. Dates de comptage modifiées

En 126 points, la date de comptage a été modifiée pour les raisons suivantes :

- panne du compteur :	38 points (30 %)
- tuyau pneumatique détérioré	29 points (23 %)
- stationnement sur le tuyau empêchant l'enregistrement des véhicules	9 points ( 7 %)
- accumulation de neige	3 points ( 2 %)
- autres (non précisé généralement)	47 points (37 %)
	<u>126 points</u>

Dans ce cas la consigne était de refaire le comptage le même jour d'une semaine suivante la plus proche possible. Ceci a été généralement bien respecté, sauf pour 12 points qui ont malgré tout été gardés dans l'échantillon.

### 1-2.2.3. Débits nuls

Le Répertoire Géographique Urbain est un recensement de toutes les sections du réseau urbain. Le tirage de l'échantillon effectué à partir de ce fichier ne nous permettait pas de savoir a priori si un trafic existait ou non sur ces sections ; cette information n'a pu être disponible qu'après observation (ceci a provoqué parfois une certaine incompréhension de la part des DDE). Dans ce cas aucun compteur n'était posé ; toutefois, les bordereaux de recueil étaient renvoyés et ces points ont été gardés dans l'échantillon pour le calcul de la moyenne, puisque la longueur totale du réseau ne peut être connue que pour l'ensemble des sections, que le débit y soit nul ou non.

Sur 35 sections à débits nuls :

- 12 étaient des chemins piétonniers,
- 12 étaient des impasses,
- 5 étaient des sections en travaux, interdites à la circulation,
- 6 pour des raisons autres (non précisées).

### 1-3. Principaux résultats obtenus

Les résultats ont été exploités de façon à obtenir des informations sur les véhicules x kilomètres parcourus, sur les débits pratiqués et sur l'infrastructure (largeur de la chaussée, terre-plein central, sens unique, réglementation en matière de stationnement, type de carrefour selon la priorité, présence de refuge piéton, présence de voie pour bus, etc...). Nous ne rendrons compte ici que des estimations concernant les véhicules x kilomètres et les débits ; mais l'ensemble des résultats figurent dans le rapport [10]. Précisons que les estimations

obtenues concernent l'ensemble des agglomérations de plus de 20 000 habitants et qu'en aucun cas il n'est possible d'évaluer la circulation pour une agglomération prise isolément, même si elle a fait l'objet de plusieurs comptages ; le plan de sondage n'est pas représentatif au niveau de chaque agglomération.

### 1-3.1. Estimation des véhicules x kilomètres parcourus

#### 1-3.1.1. Résultat global

Ayant fait un tirage des sections avec des probabilités égales, il nous a été possible de comparer les précisions obtenues avec les deux estimateurs suivants :

- L'estimation par les moyennes arithmétiques des véhicules x kilomètres parcourus sur chaque section.
- L'estimation par le quotient, qui revient à estimer des véhicules x kilomètres par kilomètre.

Le choix de l'estimateur dépendait de la valeur de la corrélation entre les véhicules x kilomètres parcourus sur une section et la longueur de cette section. Le tableau ci-dessous donne pour chaque strate, la valeur du coefficient de corrélation des véhicules x kilomètres et de la longueur, l'erreur relative de l'estimation par la moyenne arithmétique et celle de l'estimation par le quotient.

Strates	Coefficient de corrélation "longueur et débit x longueur"	Erreur relative à 95 % pour l'estimation par :	
		la moyenne arithmétique	le quotient
1. Transit + 200 000 hab.	0,84	0,31	0,17
2. " de 100 000 à 200 000 hab.	0,19	0,20	0,21
3. " de 50 000 à 100 000 hab.	0,56	0,49	0,38
4. " de 20 000 à 50 000 hab.	0,20	0,30	0,19
5. Hors transit + 200 000 hab.	0,09	0,21	0,20
6. " " de 100 000 à 200 000 hab.	0,07	0,28	0,23
7. " " de 50 000 à 100 000 hab.	0,12	0,39	0,40
8. " " de 20 000 à 50 000 hab.	0,04	0,28	0,30
TOTAL	-	0,11	0,10

Il se trouve que cette corrélation est toujours positive quelle que soit la strate bien que parfois peu élevée en particulier pour les sections hors transit. L'incidence de cette valeur de la corrélation sur l'efficacité de l'estimation par le quotient est particulièrement sensible dans les strates 1 et 3. L'estimation par le quotient est légèrement meilleure que l'autre. Par ailleurs, étant donnée la taille de l'échantillon nous avons considéré que le biais était négligeable. C'est donc cette estimation que nous avons retenue.

Ainsi, dans les agglomérations de plus de 20 000 habitants ont été parcourus (à 10 % près) entre le 1er Mars 1980 et le 28 Février 1981 une moyenne journalière (jours ouvrables seulement) de 141 millions de véhicules x kilomètres sur une longueur de réseau représentant 41 550 kilomètres.

L'intervalle de confiance à 95 % est le suivant :

[127 millions ; 155 millions].

L'erreur relative est deux fois plus importante que ce qui avait été prévu. Ceci est dû à une sous-estimation des valeurs des coefficients de variation des véhicules x kilomètres par strate comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous.

Strates			Coefficient de variation	
N°	Réseau	Agglomération	des débits (évalué avant l'enquête)	des véhicules x kilomètres (à partir de l'estimation par le quotient sur les données de l'enquête)
1	Transit	+ 200 000 hab.	0,53	0,86
2	"	100 à 200 000 hab.	0,72	0,95
3	"	50 à 100 000 hab.	0,45	1,16
4	"	20 à 50 000 hab.	0,53	0,69
5	Hors transit	+ 200 000 hab.	1,03	2,29
6	" "	100 à 200 000 hab.	0,99	1,69
7	" "	50 à 100 000 hab.	0,97	2,30
8	" "	20 à 50 000 hab.	1,01	2,14

Les coefficients de variation des véhicules x kilomètres calculés à partir des mesures réelles sont nettement plus élevés que ceux calculés a priori, après beaucoup d'approximations, sur les débits. Ceci a pour conséquence d'obtenir sur l'estimation globale une précision bien moins bonne que celle escomptée.

Le calcul des variances réelles nous a permis de redéfinir pour l'échantillon la répartition optimale de Neyman dans les 8 strates. Le tableau suivant la compare avec la répartition effective de l'échantillon.

Strates	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Répartition optimale	9	4	4	2	41	11	16	13	100 %
Répartition effective	8	6	3	4	38	16	10	15	100 %

Il s'avère que ces deux répartitions restent assez proches et qu'une modification apporterait peu de gain en précision.

#### 1-3.1.2. Résultats par sous-ensembles

La répartition des véhicules x kilomètres parcourus par jour ouvrable dans différents sous-ensembles est indiquée dans les tableaux ci-après :

#### Répartition des véhicules x kilomètres par type de réseau

Réseau	Longueur du réseau		Véhicules x kilomètres parcourus par jour ouvrable	Erreur relative à 95 %	% par rapport à l'ensemble
	km	%			
Transit	3 378 km	8 %	50 millions	11 %	35 %
Hors transit	38 172 km	92 %	91 millions	14 %	65 %
TOTAL	41 550 km	100 %	141 millions	10 %	100 %

Ainsi, 35 % des véhicules x kilomètres parcourus dans les agglomérations de plus de 20 000 habitants, le sont sur le réseau de transit qui ne représente que 8 % du kilométrage.

Répartition des véhicules x kilomètres par type d'agglomération

Type d'agglomération	Longueur du réseau en km		Véhicules x kilomètres parcourus par jour ouvrable	Erreur relative à 95 %	% par rapport à l'ensemble
	km	%			
+ 200 000 hab.	15 973	38 %	68 millions	14 %	48 %
100 à 200 000 hab.	8 120	20 %	25 millions	16 %	18 %
50 à 100 000 hab.	7 102	17 %	25 millions	30 %	18 %
20 à 50 000 hab.	10 355	25 %	23 millions	21 %	16 %
<b>TOTAL</b>	<b>41 550 km</b>		<b>141 millions</b>	<b>10 %</b>	<b>100 %</b>

On peut remarquer que les résultats concernant les agglomérations de 50 à 100 000 habitants ont des précisions particulièrement mauvaises, ce qui découle de la sous-estimation des coefficients de variation correspondants.

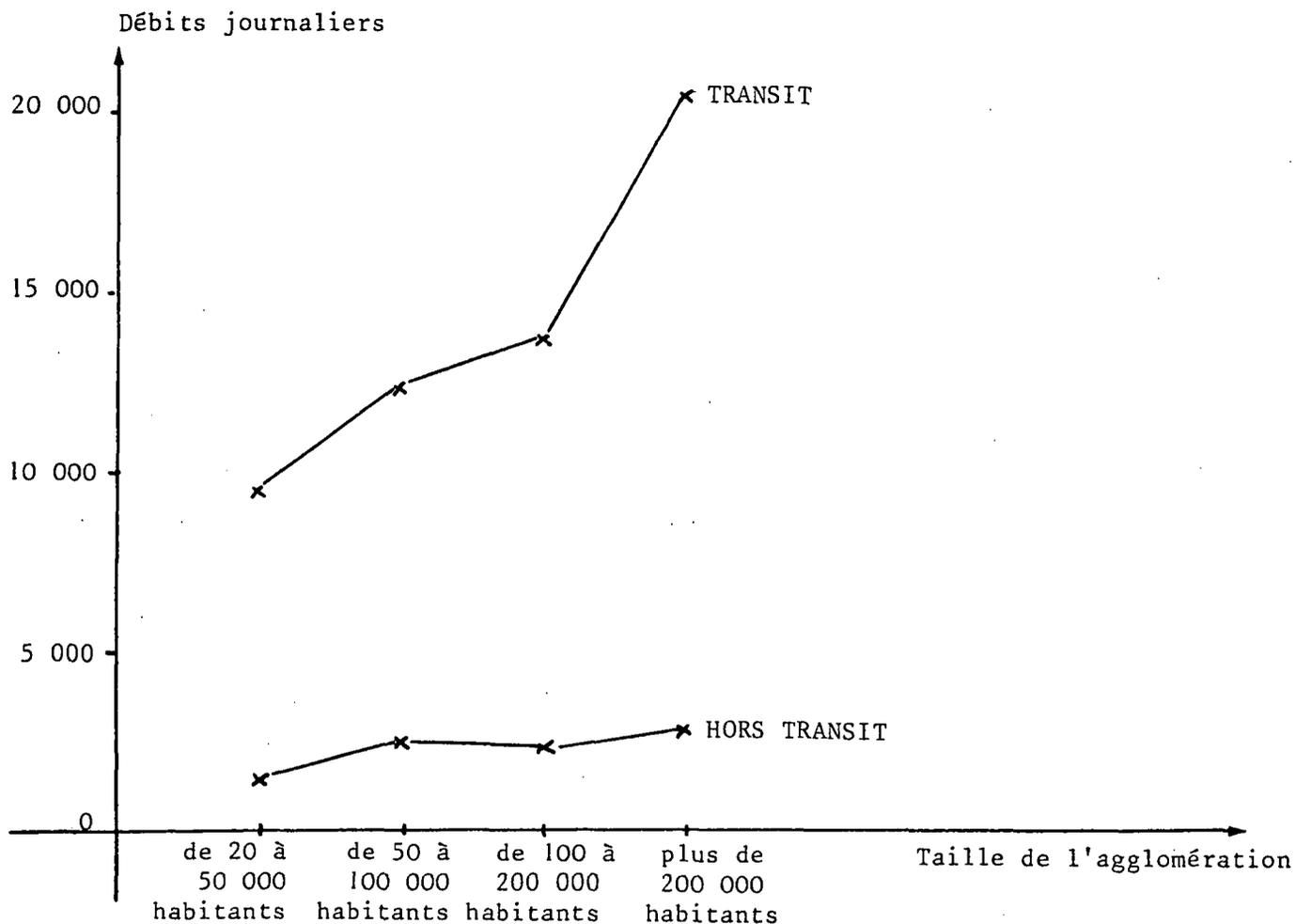
1-3.2. Estimation des débits

L'échantillon étudié, étant un échantillon de sections du réseau et non de points tirés au hasard, l'estimation des débits ne peut se calculer que comme des véhicules x kilomètres parcourus par kilomètre pendant 24 heures.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$$

Le graphique ci-après représente la progression des débits journaliers strate par strate calculés comme des véhicules x kilomètres parcourus par kilomètre (leur précision varie entre 17 % et 40 %).

Figure 1 : Débits journaliers par strate (jours ouvrables)



L'estimation du débit journalier moyen pour l'ensemble du réseau est de 3 400 véhicules x kilomètres par kilomètre à 10 % près.

Répartition horaire des débits en ‰

Tranche horaire	‰	Tranche horaire	‰
0 h - 1 h	6 ‰	12 h - 13 h	64 ‰
1 h - 2 h	3 ‰	13 h - 14 h	67 ‰
2 h - 3 h	2 ‰	14 h - 15 h	65 ‰
3 h - 4 h	3 ‰	15 h - 16 h	63 ‰
4 h - 5 h	5 ‰	16 h - 17 h	75 ‰
5 h - 6 h	10 ‰	17 h - 18 h	89 ‰
6 h - 7 h	27 ‰	18 h - 19 h	82 ‰
7 h - 8 h	62 ‰	19 h - 20 h	58 ‰
8 h - 9 h	62 ‰	20 h - 21 h	35 ‰
9 h - 10 h	54 ‰	21 h - 22 h	20 ‰
10 h - 11 h	56 ‰	22 h - 23 h	17 ‰
11 h - 12 h	64 ‰	23 h - 24 h	11 ‰

Le débit moyen étant 3 394 véh./jour, 1 ‰ représente 3,4 véhicules.

L'heure de pointe se trouve entre 17 et 18 heures. Ceci reste vrai quelle que soit la strate.

Débits journaliers par type de jours

Jour	Débit journalier moyen
Lundi	3 043 véh./jour
Mardi	3 529 véh./jour
Mercredi	3 119 véh./jour
Jeudi	3 614 véh./jour
Vendredi	3 395 véh./jour

Il n'y a pas de différence significative entre les types de jour.

## II - ESTIMATION DE L'EVOLUTION DE LA CIRCULATION

### II-1. Méthode

Après avoir estimé un indicateur global de la circulation urbaine, notre objectif était d'en détecter l'évolution au cours du temps. Le moyen le plus efficace pour cela était d'utiliser un panel de points de comptages, c'est-à-dire un échantillon de sections dont le débit devait être mesuré dans les mêmes conditions l'année suivante (le même jour de la même semaine de l'année).

Pour détecter une évolution dont le seuil était fixé a priori il nous fallait déterminer la taille de l'échantillon nécessaire et sa répartition dans les strates déjà définies. Pour que le panel puisse être mis en oeuvre aussitôt après la première année de comptages, nous avons utilisé les résultats des 6 premiers mois d'enquête afin de constituer ce nouvel échantillon.

#### II-1.1. Principe et intérêt du panel pour détecter une évolution

Lorsqu'il s'agit de mesurer l'évolution dans le temps d'un paramètre, il y a tout intérêt à conserver les mêmes points d'observation avec les mêmes caractéristiques de date d'enquête. En effet, soit dans notre cas  $Y_1$  et  $Y_2$  les valeurs de l'ensemble des véhicules x kilomètres parcourus les années 1 et 2 et  $y_1$  et  $y_2$  les estimations de ces valeurs à partir du même échantillon. La différence des volumes de circulation  $\Delta = Y_2 - Y_1$  est estimée sans biais par :

$$\delta = Y_2 - Y_1$$

Dans un premier temps nous raisonnerons avec l'estimation des véhicules x kilomètres par la moyenne arithmétique c'est-à-dire :

$$y_1 = M \frac{\sum_{i=1}^n d_{i1} l_i}{n} \quad y_2 = M \frac{\sum_{i=1}^n d_{i2} l_i}{n}$$

avec :

- $d_{i1}$  et  $d_{i2}$  les débits au point  $i$  le même jour de l'année 1 et de l'année 2
- $l_i$  la longueur de la section  $i$
- $n$  la taille de l'échantillon
- $M$  le nombre total de sections x jours ouvrables soit  $J \times N$

Si N est le nombre total de sections  $\delta$  peut donc s'exprimer comme suit :

$$\delta = M \frac{\sum_{i=1}^n (d_{i2} - d_{i1}) l_i}{n} = M \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i l_i}{n}$$

avec  $\delta_i = d_{i2} - d_{i1}$

cela revient à prendre l'estimation par la moyenne arithmétique de la différence en chaque point.

La variance de  $\delta$  s'écrit :

$$V(\delta) = M(M-n) \times \underbrace{\frac{1}{n} \times \frac{1}{M-1} \sum_{\alpha=1}^M (\Delta_{\alpha} L_{\alpha} - \frac{\sum \Delta_{\alpha} L_{\alpha}}{M})^2}_{S_{\delta}^2}$$

$\alpha$  indique ici l'indice de la section  $\times$  jour dans la population totale

$S_{\delta}^2$  peut prendre la forme suivante :

$$S_{\delta}^2 = S_{y1}^2 + S_{y2}^2 - 2S_{y1y2}$$

où  $S_{y1}^2$  et  $S_{y2}^2$  correspondent à la variance empirique de  $y_1$  et de  $y_2$  et où le troisième terme de  $S_{\delta}^2$  correspond à la covariance des véhicules  $\times$  kilomètres entre l'année 1 et 2. Il peut encore s'écrire :

$$S_{y1 y2} = \rho_{y1 y2} \times S_{y1} \times S_{y2}$$

avec  $\rho_{y1 y2}$  coefficient de corrélation entre  $y_1$  et  $y_2$  ;

les variances  $S_{y1}^2$  et  $S_{y2}^2$  sont très proches d'une année à l'autre,

on aura alors :

$$S_{\delta}^2 = 2 S_y^2 (1 - \rho_{y1 y2})$$

On peut noter que si l'on utilisait d'une année à l'autre deux échantillons indépendants on aurait  $\rho = 0$ . On a donc tout intérêt à utiliser un même échantillon dans la mesure où  $\rho$  est positif et très proche de 1 de façon à réduire la variance. Dans notre cas, l'ordre de grandeur du débit en un point d'une année sur l'autre a de grandes chances de rester le même.

Le principe est le même dans le cas d'une estimation par le quotient. Ce point a été développé en annexe 4.

### Cas d'un échantillon stratifié

Le raisonnement précédent restera le même dans chaque strate  $h$ . La variance totale sera obtenue par la formule :

$$V(\delta) = \sum_h M_h^2 V(\bar{\delta}_h) = 2 \sum_h M_h^2 \text{Var}(y_h) (1 - \rho_h)$$

On sait que dans le cas d'une stratification, la variance totale est minimum pour un échantillon de Neyman, c'est-à-dire tel que :

$$\frac{n_h}{n} = \frac{M_h S_{\delta h}}{\sum_h M_h S_{\delta h}} \quad \text{avec } n = \sum_h n_h \quad (1)$$

La variance de  $\delta$  prend alors la forme :

$$V(\delta) = \frac{1}{n} \left( \sum_h M_h S_{\delta h} \right)^2 \quad (2)$$

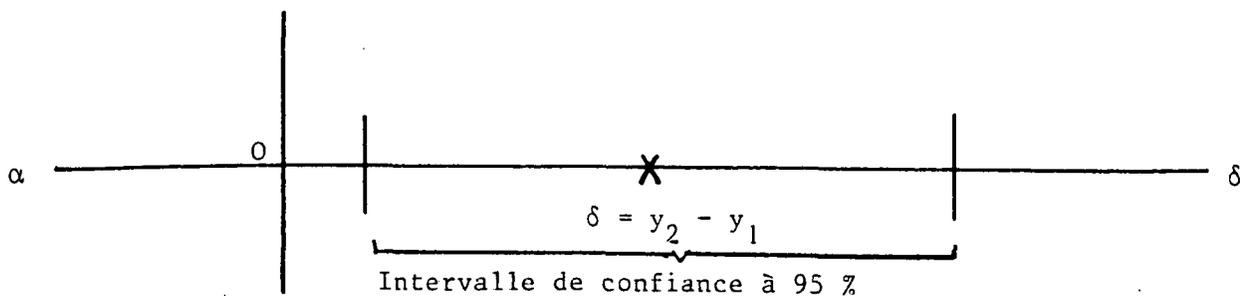
en négligeant le terme d'exhaustivité  $\frac{M-n}{M}$  qui est proche de 1.

La formule (2) permet après avoir estimé  $S_{\delta h}$  et fixé le seuil d'évolution détectable, de déterminer la taille de l'échantillon  $n$  et la formule (1) permet de répartir cet échantillon dans les strates.

L'objectif du CETUR est de pouvoir détecter de manière significative une évolution de la circulation supérieure ou égale à 3 %.

Afin de dimensionner l'échantillon du panel, nous avons simplifié le problème posé en le transformant de la façon suivante :

Si la variation relative du trafic dépasse 3 %, on souhaite que l'intervalle de confiance à 95 % de la différence des véhicules  $x$  kilomètres ne contienne pas zéro. La variation relative de 3 % sera alors significativement différente de zéro comme l'indique le schéma ci-dessous dans le cas d'une évolution positive :



$$\left[ \delta - 2 \sqrt{\text{Var}(\delta)} \quad ; \quad \delta + 2 \sqrt{\text{Var}(\delta)} \right]$$

$$\text{Soit } \frac{2 \sqrt{\text{Var}(\delta)}}{y_1} < \frac{|y_2 - y_1|}{y_1} \leq 0,03 \quad (1)$$

Par la suite, nous sommes allés au-delà de la conclusion "évolution significativement ou non-significativement différente de zéro" en enrichissant l'analyse des résultats par la méthode d'inférence fiduciaire [18].

### II-1.2. Dimensionnement à partir des données disponibles sur six mois d'enquête et répartition dans les strates

Nous avons fait l'hypothèse simplificatrice que le coefficient de variation  $\rho_h$  est le même dans chaque strate, c'est-à-dire  $\rho_h = \rho$  pour tout h

On a alors :

$$V(\delta) = 2V(y_1) (1 - \rho)$$

et l'inéquation (1) devient :

$$2 \frac{\sqrt{2V(y_1) (1 - \rho)}}{y_1} \leq 0,03$$

Soit en faisant intervenir  $C_1$  le coefficient de variation de  $y_1$

$$\frac{2 C_1}{\sqrt{n}} \sqrt{2(1 - \rho)} \leq 0,03$$

Il fallait donc une taille d'échantillon permanent telle que cette inéquation soit vérifiée, c'est-à-dire :

$$n \geq \frac{8 C_1^2 (1 - \rho)}{(0,03)^2}$$

Par les six premiers mois d'enquête, nous avons déjà une première estimation de  $C_1$  :

$$C_1 = 1,5$$

L'estimation de  $\rho$  a été établie à partir de données provenant de comptages permanents.

On a travaillé sur les années 1978 et 1979. On a pu rassembler 109 comptages faits à un an d'intervalle en un même point et répartis dans 16 villes différentes. On a veillé à garder les mêmes caractéristiques de date d'une année à l'autre (même jour de semaine, même semaine du mois, même mois) en respectant dans la mesure du possible une répartition uniforme sur l'année et sur les types de jour. Il est évident que ces comptages sont le reflet d'un réseau très circulé puisque c'est là que sont effectués les comptages permanents. On trouvera en annexe 5 un graphique représentant les débits de l'année 1979 en fonction de ceux de l'année 1978.

Le coefficient de corrélation ainsi calculé concerne uniquement les débits et non les véhicules x kilomètres car on ne disposait pas de la longueur de la section. Toutefois, on pourrait penser qu'un coefficient de corrélation sur les véhicules x kilomètres ne serait pas très différent puisque la longueur des sections reste constante dans le temps.

Le coefficient de corrélation obtenu à partir des 109 comptages est :

$$\rho = 0,98$$

On s'est posé le problème de savoir si ce coefficient de corrélation resterait aussi fort dans une strate moins homogène (hors transit par exemple). Pour tenter d'y répondre, on s'est servi des comptages déjà disponibles sur la strate "agglomération de 100 000 à 200 000 habitants - réseau hors transit" et on a simulé une série appariée avec des variations relatives inférieures à 20 % sur les forts débits comme on a pu l'observer sur les 109 comptages et des variations relatives beaucoup plus fortes (jusqu'à 50 % parfois) sur les faibles débits.

Le coefficient de corrélation ainsi calculé reste égal à 0,98. C'est donc cette valeur que nous retiendrons pour le calcul de la taille de l'échantillon.

$$n = \frac{8 \times (1,5)^2 (0,02)}{(0,03)^2} = 400$$

Il ne faut pas perdre de vue que ce n ainsi calculé est très sensible à la valeur du coefficient de corrélation. Ainsi, pour un coefficient de corrélation de 0,95, la taille de l'échantillon est multipliée par 2,5. Mais au moment du dimensionnement nous n'avons pas d'autre moyen de calculer n, nous avons donc couru le risque de ne pas avoir une précision suffisante à partir du panel et d'attendre les premiers résultats pour revoir les calculs du dimensionnement.

Compte tenu d'éventuels déchets, nous avons majoré d'environ 12 % la taille de l'échantillon ce qui conduit à 450 points de comptages.

#### Répartition de l'échantillon dans les strates

Nous avons utilisé la répartition de Neyman de façon à rendre minimale la variance totale. Nous avons pris le même coefficient de corrélation par strate  $\rho$  :

$$\forall h \quad \rho_h = \rho$$

La répartition de Neyman pour l'évaluation de la différence est telle que :

$$\frac{n_h}{n} = \frac{M_h S_{\delta h}}{\sum_h M_h S_{\delta h}}$$

avec :

$$S_{\delta h} = 2S_{yh} \sqrt{1 - \rho_h} = 2S_{yh} \sqrt{1 - \rho}$$

ce qui entraîne :

$$\frac{n_h}{n} = \frac{M_h S_{yh}}{\sum_h M_h S_{yh}}$$

On a donc calculé cette répartition à partir des observations des six premiers mois ce qui donne le tableau suivant :

<u>Strates</u>		$\frac{M_h S_{\delta h}}{\sum_h M_h S_{\delta h}}$	$n_h$
Agglomération	Réseau		
Plus de 200 000 hab.	Transit	11 %	49
100 000 à 200 000 hab.	Transit	5 %	23
50 000 à 100 000 hab.	Transit	3 %	14
20 000 à 50 000 hab.	Transit	3 %	14
Plus de 200 000 hab.	Hors transit	45 %	202
100 000 à 200 000 hab.	Hors transit	13 %	58
50 000 à 100 000 hab.	Hors transit	10 %	45
20 000 à 50 000 hab.	Hors transit	10 %	45
TOTAL		100 %	450

Cette répartition diffère légèrement de celle calculée à partir des résultats d'un an d'enquête (cf. §.1-3.1.).

## II-2. Modalités et comptes-rendus des enquêtes "panel"

Les Directions Départementales de l'Équipement ont reçu, comme pour l'année précédente, des listes de points de comptages. On trouvera en annexe 6 la répartition des sections par DDE. Le bordereau de recueil a été modifié dans la mesure où on a supprimé les informations concernant l'infrastructure (cf. annexe 7). Dans le cahier des charges [9] envoyé aux DDE, nous avons beaucoup insisté sur le fait qu'il était fondamental de respecter l'emplacement et la date du comptage. Pour le reste les consignes étaient les mêmes que lors de la première année d'enquête.

Nous allons rendre compte du déroulement des comptages pour les deux années du panel dont les résultats sont disponibles actuellement. C'est-à-dire, d'une part, du 1er Mars 1981 au 28 Février 1982 et, d'autre part, du 1er Mars 1982 au 28 Février 1983.

Lors du dimensionnement du panel, nous avons prévu 450 comptages en tenant compte d'un taux de déchets de 12 % environ. Le tirage des points du panel avait été effectué alors que la première année d'enquête portant sur les 1 440 comptages n'était pas terminée. Il se trouve donc que 12 points tirés pour le panel n'ont pas été faits la première année. Ceci réduit la taille du panel à 438 points. Parmi ces 438 points demandés aux DDE, 386 ont été exploitables la première année et 393 la deuxième année. Les raisons en sont décrites dans le tableau suivant :

	1ère année du panel 1/3/81 au 28/2/82	2ème année du panel 1/3/82 au 28/2/83
Points supprimés car tombant un jour férié la 2ème année du panel	-	10
Infrastructure modifiée par rapport à l'année précédente	2	-
Travaux permettant la circulation mais empêchant la pose du compteur	6	2
Panne du compteur	4	5
Tuyau pneumatique détérioré	10	8
Stationnement sur tuyau	2	2
Neige	3	2
Autres comptages non faits	13	7
Date tombant un week-end prolongé	2	-
Date modifiée trop éloignée de la date prévue	2	-
Débit nul à cause de travaux sur chaussée	8	-
Bordereaux non renvoyés	-	9
<b>Total des points exploitables</b>	<b>386</b>	<b>393</b>
<b>Total des points du panel</b>	<b>438</b>	<b>438</b>

L'exploitation de la première année du panel a porté sur les 386 points communs avec l'année précédente. L'exploitation de la seconde année du panel a porté sur 351 points communs aux deux années car les comptages non faits chacune des deux années ne sont pas les mêmes.

### II-3. Résultats des deux premières années du panel

#### II-3.1. Evolution de la circulation entre "Mars 80 - Février 81" et "Mars 81 - Février 82"

Entre ces deux périodes la circulation a diminué de - 0,4 %.

Cette variation est-elle significativement différente de zéro ?

La différence des véhicules x kilomètres d'une année à l'autre est égale à 535 397 véhicules x kilomètres par jour.

L'écart type de la différence est égal à 2 044 576. L'intervalle de confiance à 95% de la différence est donc :

$$[- 4 624 500 ; 3 553 800]$$

Cet intervalle contenant zéro, on peut conclure que la variation de l'indicateur n'est pas significativement différente de zéro. De plus, la valeur nulle étant pratiquement au centre de l'intervalle nous n'avons pas poursuivi l'investigation au-delà de cette conclusion.

Avec l'écart type obtenu sur la différence, seule pourrait être considérée comme significativement non nulle, une évolution relative supérieure à :

$$\frac{2 \sqrt{\text{Var}(\sigma)}}{y_1} = \frac{4 089 152}{131 527 152} = 3,1 \%$$

Notons que les résultats pour chaque strate ne font apparaître aucune évolution significativement différente de zéro.

#### II-3.2. Evolution de la circulation entre "Mars 81 - Février 82" et "Mars 82 - Février 83"

L'analyse des 351 points exploitables communs aux deux périodes permet d'estimer l'évolution de la circulation à + 7 %.

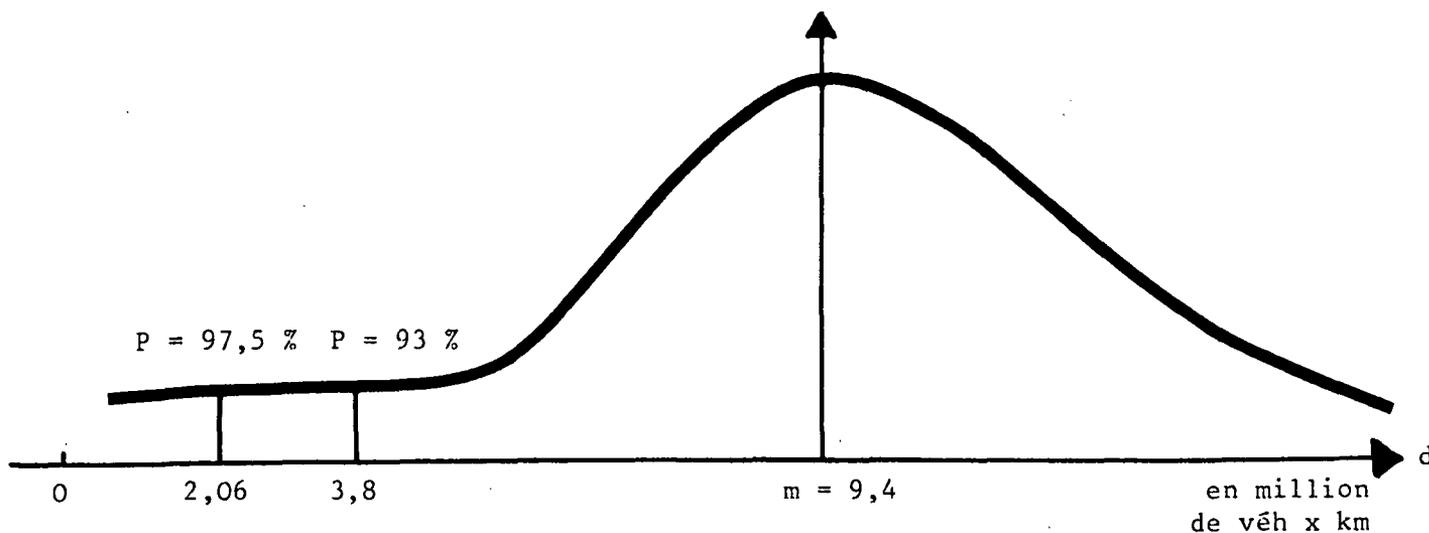
Cette augmentation de la circulation est significativement différente de zéro. En effet, la différence est de 9 443 560 véhicules x kilomètres par jour et son écart type est égal à 3 765 271. L'intervalle de confiance à 95 % est donc :

$$[1 913 062 ; 16 974 146] \text{ et ne contient pas zéro.}$$

Nous avons tenter d'enrichir ce résultat à l'aide de la méthode d'inférence fiduciaire [18] dont l'approche permet d'aller au-delà de la conclusion "significativement ou non-significativement différent de zéro".

L'inférence fiduciaire permet de répondre à la question : Quelle est la probabilité pour que la différence des véhicules x kilomètres soit supérieure à un seuil donné dont le niveau traduirait une évolution notable ?

On peut faire l'hypothèse que la différence des véhicules x kilomètres,  $d$ , suit une loi normale de moyenne  $m = 9\ 443\ 560$  et d'écart type  $\sigma = 3\ 765\ 271$  dont la densité de probabilité est représentée dans le schéma ci-dessous :



L'indice P indiqué sur le schéma est la probabilité pour que la différence réelle soit supérieure au seuil indiqué : par exemple on a 93 chances sur 100 pour que la différence des véhicules x kilomètres soit supérieure à 3 863 322.

Dans le tableau suivant nous traduisons ces résultats en évolution relative en prenant comme référence la circulation de l'année 1981-1982.

Probabilité	Pour que la différence soit supérieure à	Pour que l'évolution soit supérieure à
0,975	2 063 629	+ 1,6 %
0,95	3 250 066	+ 2,5 %
0,93	3 863 322	+ 3 %
0,90	4 617 989	+ 3,6 %

On a donc 5 chances sur 100 de se tromper en déclarant que la circulation des jours ouvrables a augmenté d'au moins 2,5 %, de la période Mars 1981 - Février 1982 à la période Mars 1982 - Février 1983 dans les agglomérations de plus de 20 000 habitants.

### II-3.3. Analyse de la corrélation des véhicules x kilomètres d'une année à l'autre

Le dimensionnement du panel avait été fait à partir d'une estimation assez grossière du coefficient de corrélation des débits d'une année sur l'autre car nous n'avions pas de données adaptées à l'évaluation d'un coefficient de corrélation des véhicules x kilomètres. Nous l'avions alors estimé à 0,98 pour chacune des strates.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous les estimations des pseudo-coefficients de corrélation des véhicules x kilomètres d'une année à l'autre pour les différentes périodes :

Strates		Années (80-81) , (81-82)		Années (81-82) , (82-83)	
		Nombre de points	Pseudo-coefficient de corrélation lié à l'estimation par le quotient	Nombre de points	Pseudo-coefficient de corrélation lié à l'estimation par le quotient
T R A N S I T	+ 200 000 hab.	40	0,99	40	1,00
	100 à 200 000 hab.	18	0,64	15	0,93
	50 à 100 000 hab.	12	0,99	11	0,93
	20 à 50 000 hab.	13	0,92	12	0,90
H O R S  T R A N S I T	+ 200 000 hab.	174	0,99	159	0,92
	100 à 200 000 hab.	53	0,93	50	0,90
	50 à 100 000 hab.	36	0,96	32	0,92
	20 à 50 000 hab.	40	0,99	32	0,99

Dans certaines strates, le coefficient est meilleur la deuxième année, dans d'autres c'est le contraire, en particulier dans celles où il y a le plus de points de comptages ; il se trouve en effet qu'en certains points le débit diffère très fortement d'une année sur l'autre (quelquefois du simple au double dans un sens ou dans l'autre) sans que l'on ait pu trouver d'explication à ces fortes variations.

On peut noter que la valeur de la variance de la différence est nettement plus forte la seconde année du panel que la première. Mais ceci peut être dû au fait que la valeur de la différence elle-même a beaucoup augmenté d'une année sur l'autre.

#### II-4. Suite de l'enquête

Le panel est reconduit chaque année. A partir de la seconde année nous l'avons complété avec des points de comptages faits un samedi ou un dimanche afin de pouvoir détecter une évolution concernant tous les jours de la semaine. Ces points de fin de semaine ont été répartis dans les strates suivant le critère de Neyman. Nous avons veillé à ce que les comptages de fin de semaine représentent 2/7e du panel global qui comprend ainsi 617 points.

Nous n'avons pas encore les résultats des comptages de ces points "week-end" pour deux années successives. Mais dès à présent, nous avons pu remarquer que la proportion des comptages non faits était plus forte que pour les jours ouvrables.

La méthodologie et les programmes de traitement des données étant au point, le CETUR a pris la responsabilité de l'exploitation des enquêtes depuis le début de l'année 1984. Actuellement, la cinquième année du panel est en cours.

#### CONCLUSION

Pour compléter les statistiques nationales en matière de circulation routière, il était indispensable de disposer de résultats concernant le trafic du réseau urbain. Nous avons partiellement comblé cette lacune en constituant un indicateur de circulation pour les agglomérations de plus de 20 000 habitants.

L'analyse des résultats a fait apparaître que 141 millions de véhicules x kilomètres ont été parcourus en moyenne chaque jour ouvrable entre le 1er Mars 1981 et le 28 Février 1982 sur le réseau des agglomérations de plus de 20 000 habitants (soit 41 550 kilomètres). Cette estimation à 10 % près a été obtenue à partir de 1 440 points de comptages d'une durée de 24 heures. Si l'on souhaitait une précision de l'ordre de 5 %, il faudrait multiplier par quatre le nombre de points de comptage.

Pour détecter une évolution de cet indicateur supérieure à 3 %, un panel de 450 points de comptage suffit. Aucune évolution significative de la circulation n'est apparue entre la première et la seconde année d'enquête. Par contre, une augmentation significative a été détectée entre la seconde et la troisième année de comptage.

L'outil mis au point pour établir la valeur de cet indicateur et son évolution au cours du temps est maintenant opérationnel et peut servir de modèle pour des investigations sur d'autres réseaux ou sur des agglomérations prises isolément.

## B I B L I O G R A P H I E

1. Herber S. LEVINSON, Adebart ROARK : Urban traffic volume counting manual, prepared for U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Septembre 1974.
2. Jacques DESABIE : Théorie et pratique des sondages (Dunod).
3. COCHRAN : Sampling Techniques (Wiley).
4. Marie-Berthe BIECHELER, Marie-Ange CAMBOIS : Constitution d'un indicateur de circulation urbaine - 1ère phase, Juillet 1976.
5. Marie-Berthe BIECHELER, Marie-Ange CAMBOIS : Constitution d'un indicateur de circulation urbaine - 2ème phase, Novembre 1976.
6. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Constitution d'un indicateur de circulation urbaine - Phase Unique, Décembre 1977.
7. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Constitution d'un indicateur de circulation urbaine. Cahier des charges, Juin 1978.
8. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Suivi d'un indicateur de circulation urbaine - 1ère phase, Octobre 1980.
9. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Suivi d'un indicateur de circulation urbaine - 2ème phase. Cahier des charges, Novembre 1980.
10. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Suivi d'un indicateur de circulation urbaine - 1ère phase. Analyse des résultats de la première année d'enquête, Juillet 1981.
11. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Suivi d'un indicateur de circulation urbaine - 2ème phase. Exploitation partielle du panel, Décembre 1981.
12. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Suivi d'un indicateur de circulation urbaine. Plan de sondage de l'enquête week-end, Mars 1982.
13. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Développement et gestion d'indicateurs de circulation et de sécurité. Analyse des résultats de la première année du panel, Juin 1982.
14. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Développement et gestion d'indicateurs de circulation et de sécurité. Cahier des charges du panel 1983/1984, Avril 1983.
15. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Tableau de Bord de Sécurité Routière et Etudes Statistiques. Indicateur National de Circulation Urbaine, Novembre 1983.
16. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE : Tableau de Bord et Etudes Statistiques. Suivi de l'indicateur de circulation urbaine. Analyse des résultats de la seconde année du panel, Avril 1984.

17. Marie-Ange CAMBOIS, Hélène FONTAINE, Odile DESFORGES : Estimation des véhicules x kilomètres parcourus en ville. Revue TEC, Juillet - Août 1981.
18. Jean-Michel HOC : Analyse planifiée des données en psychologie. PUF.

## ANNEXES

ANNEXE 1 : BORDEREAU DE RECUEIL POUR LA PREMIERE ANNEE DE L'ENQUETE.

ANNEXE 2 : EXEMPLE D'UNE LISTE DE POINTS DE COMPTAGE ENVOYEE A UN DEPARTEMENT.

ANNEXE 3 : REPARTITION DES POINTS PAR DEPARTEMENT POUR LA PREMIERE ANNEE D'ENQUETE.

ANNEXE 4 : VARIANCE DE LA DIFFERENCE DES VOLUMES DE CIRCULATION ENTRE DEUX ANNEES CONSECUTIVES DANS LE CAS D'UNE ESTIMATION PAR LE QUOTIENT.

ANNEXE 5 : DEBITS JOURNALIERS EN VILLE AU COURS DE L'ANNEE 1979 EN FONCTION DES DEBITS DE L'ANNEE 1978.

ANNEXE 6 : REPARTITION DES POINTS PAR DEPARTEMENT POUR LA PREMIERE ANNEE DU PANEL.

ANNEXE 7 : BORDEREAU DE RECUEIL POUR LE PANEL.

Information provenant  
de la liste des points  
d'enquête

- Numéro de la « section x jour »  1  2  3  4
- Numéro de la carte  1  5
- Date réelle du comptage   
 année  6  7
- mois  8  9
- jour  10  11
- Catégorie d'agglomération  12
- Type de réseau  13
- Département  14  15
- Longueur de la section en mètres  16  17  18  19
- Largeur de la chaussée en mètres  20  21
- Largeur des trottoirs en mètres :  
 1er trottoir  22  23
- 2ème trottoir  24  25
- Terre plein central : oui = 1, non = 2  26

## 1er carrefour

- Type de carrefour : intersection en X : 1
- intersection en T : 2  27
- intersection en Y : 3
- Intersection à plus de 4 branches : 4
- Autres : 9
- Type de priorité
  - . pas de problème de priorité : 0
  - . section prioritaire avec STOP sur voie  
perpendiculaire : 1
  - . section prioritaire avec panneau « Cédez  
le passage » sur voie perpendiculaire : 2
  - . priorité à droite : 3  28
  - . feux jaunes clignotants en fonctionne-  
ment : 4
  - . section avec panneau « Cédez le passage » : 5
  - . section avec STOP : 6
  - . signaux tricolores en fonctionnement : 7
  - . signaux à bras par police : 8
  - . autres (passage à niveau) : 9
- Refuge piéton : oui = 1, non = 2  29

## 2ème carrefour (mêmes codes que pour le 1er carrefour)

- . Type de carrefour
- . Type de priorité  30
- . Refuge piéton  31
- Sens unique : oui = 1 ; non = 2  32
- Réglementation du stationnement sur chaussée
  - . interdit : 1
  - . unilatéral autorisé : 2  34
  - . bilatéral autorisé : 3
  - . milieu de chaussée autorisé : 4
  - . autres : 9
- Nombre de voies de stationnement occupant effective-  
ment la chaussée au moment de la pose  35
- Couloir d'autobus : un couloir : 1
- deux couloirs : 2  36
- pas de couloir : 3
- Travaux sur chaussée : oui = 1 ; non = 2  37
- Emplacement du comptage sur une place : oui = 1 ; non = 2  38
- Anomalies**
  - Comptage non fait
    - . Construction autoroute ou voie expresse = 1
    - . Travaux permettant la circulation et empêchant  
la pose de compteur = 2  39
    - . Infrastructure empêchant la pose de compteur = 3
    - . Autres = 9
  - Date du comptage modifiée
    - . Panne du compteur = 1
    - . Tuyau pneumatique détérioré = 2  40
    - . Stationnement sur le tuyau = 3
    - . Neige = 4
    - . Autres = 9
  - Débit nul
    - . Chemin piétonnier = 1
    - . Travaux empêchant tout trafic = 2
    - . Impasse = 3  41
    - . En raison d'intempéries = 4
    - . Autres = 9



ANNEXE 2

EXEMPLE D'UNE LISTE DE POINTS DE COMPTAGE ENVOYEE A UN DEPARTEMENT

DEPARTEMENT : 39

SFCT	NOM DE LA COMMUNE	COM	NOM DE LA RUE	! ORG.G	! EXT.G	! ORG.D	! EXT.D	! LONG	! A	! R	! DATE
00197	** BOURGOIN JALLISU	053	RUE PONTCOTTIER	! 25	! 25	! 76	! 76	! 00065	! 4	! 2	! 21/07/80
00452	ECHIROLLES	151	RUE DE L ECUREUIL	! 2	! 2	! 2	! 16	! 00131	! 1	! 2	! 17/09/80
00453	ECHIROLLES	151	CRS JEAN JAURES	! 127	! 135	! 86	! 90	! 00141	! 1	! 1	! 26/12/80
00454	ECHIROLLES	151	AVE SALVADOR ALLENDE	! E	! E	! Z	! Z	! 00156	! 1	! 2	! 17/03/80
00455	FONTAINE	169	RUE DU CHARMANT SOM	! 7	! 19	! 1	! 1	! 00130	! 1	! 2	! 13/01/81
00457	** GRENOBLE	185	RUE ALFRED DE VIGNY	! E	! E	! Z	! Z	! 00348	! 1	! 2	! 18/12/80
00460	** GRENOBLE	185	RUE BONS ENFANTS	! 1	! 7	! 2	! 8	! 00085	! 1	! 2	! 11/03/80
00458	** GRENOBLE	185	RUE EDOUARD VAILLANT	! 5	! 23	! 2	! 16	! 00257	! 1	! 2	! 09/02/81
00462	** GRENOBLE	185	AVE MALHERBE	! E	! E	! 16	! 16	! 00055	! 1	! 1	! 31/07/80
00459	** GRENOBLE	185	BRD MAL FOCH	! 27	! 27	! 34	! 34	! 00040	! 1	! 1	! 19/02/81
00465	** GRENOBLE	185	BRD MAL LECLERC	! 15	! 23	! E	! E	! 00338	! 1	! 1	! 25/04/80
00463	** GRENOBLE	185	PCE PAUL MISTRAL	! 1	! 1	! 1	! 1	! 00264	! 1	! 2	! 22/04/80
00461	** GRENOBLE	185	RUE PINAL	! 24 B	! 24 B	! E	! E	! 00108	! 1	! 2	! 21/08/80
00456	** GRENOBLE	135	RUE RASPAIL	! E	! E	! 6	! 6	! 00060	! 1	! 2	! 15/09/80
00464	** GRENOBLE	185	AVE SAINT-ROCH	! 9	! 9	! E	! E	! 00061	! 1	! 2	! 03/03/80
00466	MEYLAN	229	RUE DES PEUPLIERS	! E	! E	! 22	! 22	! 00372	! 1	! 2	! 30/04/80
00467	LE PONT DE CLAIK	317	AVE RAFFIN CABOISSE	! 6	! 6	! Z	! Z	! 00176	! 1	! 2	! 27/02/81
00468	SAINTE EGREVE	382	LES TROIS PONTS	! 1	! 1	! 1	! 1	! 00099	! 1	! 2	! 28/08/80
00470	SAINTE MARTIN D'HERES	421	RUE DES GLAIRONS	! 17	! 17	! 20	! 20	! 00065	! 1	! 2	! 10/02/81
00469	SAINTE MARTIN D'HERES	421	RUE HENRI WALLON	! E	! E	! E	! E	! 00373	! 1	! 2	! 11/06/80
00471	SAINTE MARTIN LE VINOUX	423	RUE DE LA LIBERATION	! 47	! 57	! 66	! 78	! 00256	! 1	! 2	! 22/04/80
00472	SEYSSINET PARISSET	485	BRD DES FREPES DESAISE	! E	! E	! Z	! Z	! 00214	! 1	! 1	! 22/07/80
00473	LA TRONCHE	516	CHEM DU PETIT VIOLET	! E	! E	! E	! E	! 00038	! 1	! 2	! 11/03/80
01428	** VIENNE	544	PERON ST MAURICE	! E	! E	! Z	! Z	! 00055	! 4	! 2	! 14/11/80
01427	** VIENNE	544	CRS DE VERDUN	! 17	! 25	! 30	! 44	! 00139	! 4	! 1	! 04/03/80
01429	** VOIRON	553	RUE VAUCANSON	! 5	! 11	! 4	! 8	! 00108	! 4	! 2	! 30/10/80

ANNEXE 3

REPARTITION DU NOMBRE DE COMPTAGES A EFFECTUER DANS L'ANNEE

DANS CHAQUE DEPARTEMENT

Département	Nb de comptages	Département	Nb de comptages
01 Ain	4	49 Maine-et-Loire	19
02 Aisne	11	50 Manche	8
03 Allier	13	51 Marne	20
04 Alpes de Haute Provence	0	52 Marne (Haute)	5
05 Alpes (Hautes)	1	53 Mayenne	4
06 Alpes-Maritimes	42	54 Meurthe-et-Moselle	33
07 Ardèche	3	55 Meuse	2
08 Ardennes	6	56 Morbihan	8
09 Ariège	0	57 Moselle	28
10 Aube	11	58 Nièvre	4
11 Aude	7	59 Nord	116
12 Aveyron	5	60 Oise	9
13 Bouches-du-Rhône	69	61 Orne	4
14 Calvados	14	62 Pas-de-Calais	70
15 Cantal	2	63 Puy-de-Dôme	21
16 Charente	12	64 Pyrénées-Atlantiques	24
17 Charente-Maritime	14	65 Pyrénées (Hautes)	4
18 Cher	9	66 Pyrénées Orientales	13
19 Corrèze	6	67 Rhin (Bas)	36
20 Corse	3	68 Rhin (Haut)	30
21 Côte-d'Or	15	69 Rhône	59
22 Côtes-du-Nord	5	70 Saône (Haute)	2
23 Creuse	0	71 Saône-et-Loire	11
24 Dordogne	8	72 Sarthe	15
25 Doubs	13	73 Savoie	5
26 Drôme	11	74 Savoie (Haute)	6
27 Eure	5	75 Paris	0
28 Eure-et-Loir	6	76 Seine-Maritime	76
29 Finistère	21	77 Seine-et-Marne	12
30 Gard	17	78 Yvelines	9
31 Garonne (Haute)	41	79 Deux-Sèvres	5
32 Gers	1	80 Somme	16
33 Gironde	72	81 Tarn	9
34 Hérault	23	82 Tarn-et-Garonne	4
35 Ille-et-Vilaine	20	83 Var	30
36 Indre	4	84 Vaucluse	18
37 Indre-et-Loire	20	85 Vendée	7
38 Isère	26	86 Vienne	8
39 Jura	3	87 Vienne (Haute)	11
40 Landes	6	88 Vosges	6
41 Loir-et-Cher	2	89 Yonne	6
42 Loire	26	90 Territoire de Belfort	4
43 Haute-Loire	1	91 Essonne	0
44 Loire-Atlantique	42	92 Hauts-de-Seine	0
45 Loiret	14	93 Seine-Saint-Denis	0
46 Lot	0	94 Val-de-Marne	0
47 Lot-et-Garonne	5	95 Val-d'Oise	2
48 Lozère	0		

## ANNEXE 4

### VARIANCE DE LA DIFFERENCE DES VOLUMES DE CIRCULATION

#### ENTRE DEUX ANNEES CONSECUTIVES DANS LE CAS

#### D'UNE ESTIMATION PAR LE QUOTIENT

Soit  $Y_1$  et  $Y_2$  les valeurs de l'ensemble des véhicules x kilomètres parcourus les années 1 et 2 et  $y_1$  et  $y_2$  les estimations de ces valeurs à partir du même échantillon. La différence des volumes de circulation  $\Delta = Y_2 - Y_1$  est estimée sans biais par :

$$\delta = y_2 - y_1$$

Si l'on retient l'estimation par le quotient, on a :

$$y_1 = \frac{\sum_{i=1}^n d_{i1} l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \times L \qquad y_2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_{i2} l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \times L$$

avec :

- $d_{i1}$  et  $d_{i2}$  les débits au point  $i$  le même jour de l'année 1 et de l'année 2
- $l_i$  la longueur de la section  $i$
- $L$  la longueur totale du réseau
- $n$  la taille de l'échantillon

$\delta$  peut donc s'exprimer comme suit :

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n (d_{i2} - d_{i1}) l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \times L = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \times L$$

avec  $\delta_i = d_{i2} - d_{i1}$

Cela revient à prendre l'estimation par le quotient de la différence en chaque point. La variance de  $\delta$  s'écrit de la façon suivante :

$$V(\delta) = \frac{M-m}{M} \times \frac{1}{m} \times \frac{1}{M-1} \underbrace{\sum_{\alpha=1}^M (L_{\alpha} \Delta_{\alpha} - \frac{\sum_{\alpha} L_{\alpha} \Delta_{\alpha}}{\sum_{\alpha} L_{\alpha}} L_{\alpha})^2}_{S^2_{\delta}}$$

En exprimant  $S_{\delta}^2$  en fonction des débits l'année 1 et l'année 2, on trouve :

$$S_{\delta}^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{\alpha=1}^M (L_{\alpha} (D_{\alpha 2} - D_{\alpha 1}) - \frac{\sum_{\alpha} L_{\alpha} (D_{\alpha 2} - D_{\alpha 1})}{\sum_{\alpha} L_{\alpha}} L_{\alpha})^2$$

$$S_{\delta}^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{\alpha=1}^M (L_{\alpha} D_{\alpha 2} - \frac{\sum_{\alpha} L_{\alpha} D_{\alpha 2}}{\sum_{\alpha} L_{\alpha}} L_{\alpha})^2$$

$$+ \frac{1}{M-1} \sum_{\alpha=1}^M (L_{\alpha} D_{\alpha 1} - \frac{\sum_{\alpha} L_{\alpha} D_{\alpha 1}}{\sum_{\alpha} L_{\alpha}} L_{\alpha})^2$$

$$- \frac{2}{M-1} \sum_{\alpha=1}^M (L_{\alpha} D_{\alpha 2} - \frac{\sum_{\alpha} L_{\alpha} D_{\alpha 2}}{\sum_{\alpha} L_{\alpha}} L_{\alpha}) (L_{\alpha} D_{\alpha 1} - \frac{\sum_{\alpha} L_{\alpha} D_{\alpha 1}}{\sum_{\alpha} L_{\alpha}} L_{\alpha})$$

Soit encore :

$$S_{\delta}^2 = S_{y1}^2 + S_{y2}^2 - 2 S'_{y1 y2}$$

Comme nous avons utilisé l'estimation par le quotient, nous assimilerons le troisième terme de  $S_{\delta}^2$  à la covariance des véhicules x kilomètres entre l'année 1 et 2, et les deux premiers termes à des variances empiriques.

En effet, le terme  $\frac{\sum_{\alpha} L_{\alpha} D_{\alpha}}{\sum_{\alpha} L_{\alpha}}$  représente des véhicules x kilomètres par kilomètre

et peut donc être considéré comme un débit moyen (ces deux valeurs sont presque égales dans la réalité).

On appellera  $\rho'_{y1 y2}$  un pseudo-coefficient de corrélation tel que :

$$S'_{y1 y2} = \rho'_{y1 y2} S'_{y1} \times S'_{y2}$$

Ce coefficient  $\rho'$  a les mêmes qualités qu'un coefficient de corrélation dans la mesure où il traduit bien la liaison des mesures d'une année à l'autre.

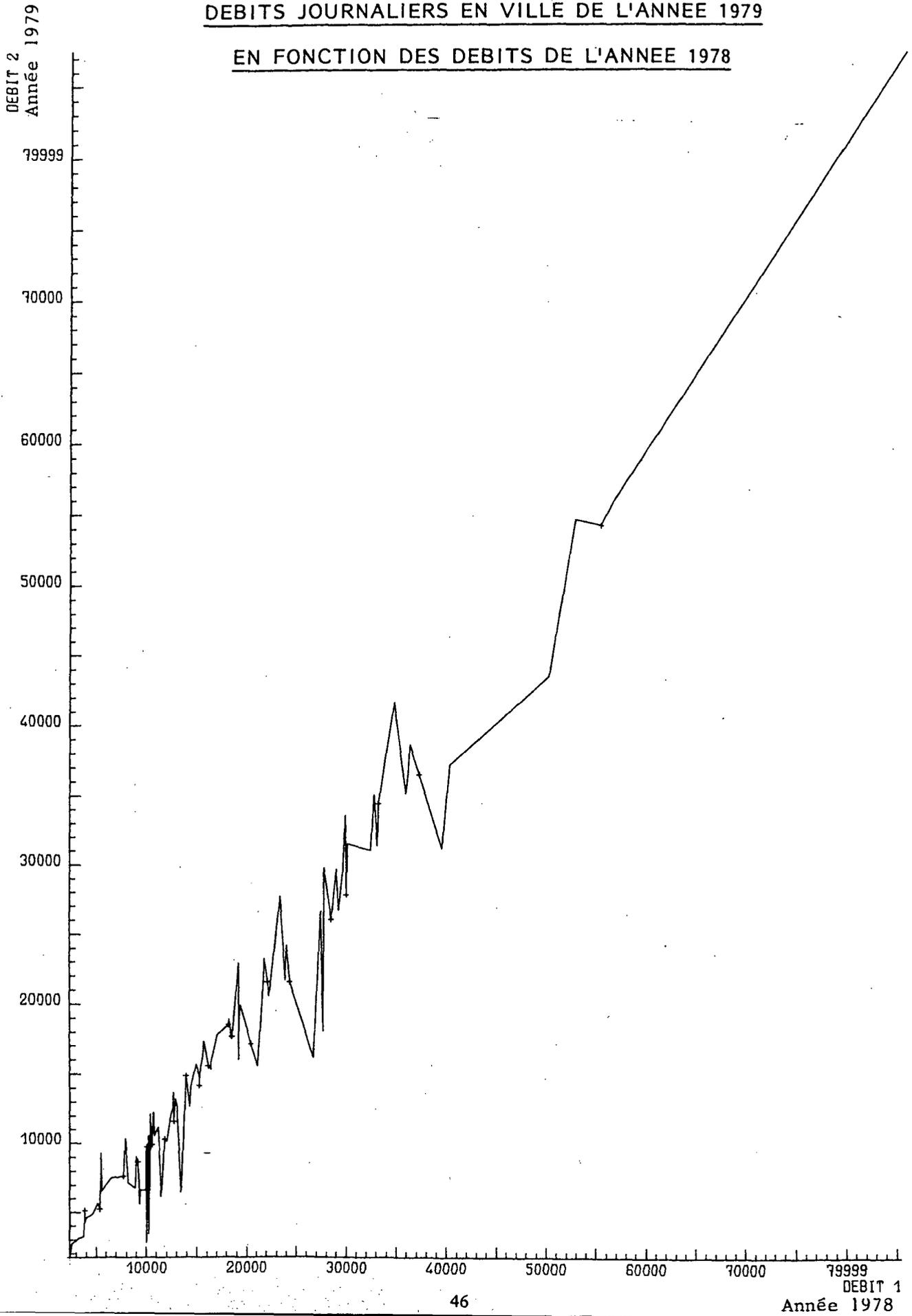
On a donc finalement :

$$S_{\delta}^2 = 2 S_y^2 (1 - \rho'_{y1 y2})$$

ANNEXE 5

DEBITS JOURNALIERS EN VILLE DE L'ANNEE 1979

EN FONCTION DES DEBITS DE L'ANNEE 1978



ANNEXE 6

REPARTITION DU NOMBRE DE COMPTAGES DU PANEL DANS CHAQUE DEPARTEMENT

Département	Nb de comptages	Département	Nb de comptages
01 Ain	1	49 Maine-et-Loire	4
02 Aisne	3	50 Manche	2
03 Allier	3	51 Marne	5
04 Alpes de Haute Provence	0	52 Marne (Haute)	1
05 Alpes (Hautes)	1	53 Mayenne	1
06 Alpes-Maritimes	16	54 Meurthe-et-Moselle	12
07 Ardèche	0	55 Meuse	0
08 Ardennes	1	56 Morbihan	2
09 Ariège	0	57 Moselle	8
10 Aube	3	58 Nièvre	1
11 Aude	1	59 Nord	41
12 Aveyron	1	60 Oise	3
13 Bouches-du-Rhône	26	61 Orne	1
14 Calvados	3	62 Pas-de-Calais	25
15 Cantal	0	63 Puy-de-Dôme	8
16 Charente	4	64 Pyrénées-Atlantiques	5
17 Charente-Maritime	4	65 Pyrénées (Hautes)	0
18 Cher	3	66 Pyrénées Orientales	3
19 Corrèze	1	67 Rhin (Bas)	15
20 Corse	0	68 Rhin (Haut)	8
21 Côte-d'Or	4	69 Rhône	22
22 Côtes-du-Nord	2	70 Saône (Haute)	1
23 Creuse	0	71 Saône-et-Loire	5
24 Dordogne	3	72 Sarthe	4
25 Doubs	3	73 Savoie	1
26 Drôme	3	74 Savoie (Haute)	0
27 Eure	1	75 Paris	0
28 Eure-et-Loir	0	76 Seine-Maritime	29
29 Finistère	8	77 Seine-et-Marne	4
30 Gard	4	78 Yvelines	2
31 Garonne (Haute)	16	79 Deux-Sèvres	1
32 Gers	1	80 Somme	5
33 Gironde	26	81 Tarn	4
34 Hérault	7	82 Tarn-et-Garonne	0
35 Ille-et-Vilaine	5	83 Var	10
36 Indre	0	84 Vaucluse	4
37 Indre-et-Loire	7	85 Vendée	2
38 Isère	8	86 Vienne	2
39 Jura	1	87 Vienne (Haute)	2
40 Landes	2	88 Vosges	2
41 Loir-et-Cher	0	89 Yonne	1
42 Loire	11	90 Territoire de Belfort	1
43 Haute-Loire	1	91 Essonne	0
44 Loire-Atlantique	16	92 Hauts-de-Seine	0
45 Loiret	4	93 Seine-Saint-Denis	0
46 Lot	0	94 Val-de-Marne	0
47 Lot-et-Garonne	2	95 Val-d'Oise	0
48 Lozère	0		



- Numéro de la « section x jour » 1      4- Numéro de la carte  2  5

- Date réelle du comptage

année 6   7mois 8   9jour 10   11- Type de jour  12Lundi = 1 ; Mardi = 2 ; Mercredi = 3 ; Jeudi = 4 ; Vend. = 5  
Samedi = 6 ; Dimanche = 7- Nb de véhicules passés entre 0 h - 1 h 13        171 h - 2 h 18        222 h - 3 h 23        273 h - 4 h 28        324 h - 5 h 33        375 h - 6 h 38        426 h - 7 h 43        477 h - 8 h 48        528 h - 9 h 53        579 h - 10 h 58        6210 h - 11 h 63        6711 h - 12 h 68        72- Code enquête 80  4- Numéro de la section : 1      4- Numéro de la carte  3  5

- Date réelle du comptage

année 6   7mois 8   9jour 10   11- Type de jour  12- Nb de véhicules passés entre 12 h - 13 h 13        1713 h - 14 h 18        2214 h - 15 h 23        2715 h - 16 h 28        3216 h - 17 h 33        3717 h - 18 h 38        4218 h - 19 h 43        4719 h - 20 h 48        5220 h - 21 h 53        5721 h - 22 h 58        6222 h - 23 h 63        6723 h - 24 h 68        72- Code enquête 80  4

Les observations particulières (situation non prévue par le codage) peuvent être notées au dos de ce bordereau.

