

ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS

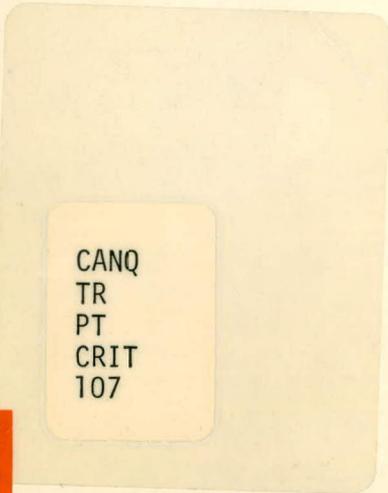


**ANALYSE DE LA RELATION DÉBIT/VITESSE
À PARTIR DE L'ENQUÊTE
SUR LES VÉHICULES ENTRANT/SORTANT
DE L'AUTOROUTE MÉTROPOLITAINE
EN 1991**

ANDRÉ BABIN



SYSTÈMES
DE TRANSPORT



CANQ
TR
PT
CRIT
107

Québec 

362433

ANALYSE DE LA RELATION DÉBIT/VITESSE
À PARTIR DE L'ENQUÊTE SUR LES VÉHICULES ENTRANTS-SORTANTS DE
L'AUTOROUTE MÉTROPOLITAINE EN 1991



Septembre 1994

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,
21^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1

DAR-CEN-MON

CANQ
TR
PT
CRIT
107

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-24131-2



Titre et sous-titre du rapport Analyse de la relation Débit/Vitesse à partir de l'enquête sur les véhicules entrant/sortant de l'autoroute Métropolitaine en 1991				N° du rapport Transports Québec RTQ-95-01		
				Rapport d'étape <input type="checkbox"/> An Mois Jour Rapport final <input type="checkbox"/>		
Auteur(s) du rapport André Babin				N° du contrat (RRDD-AA-CCXX)		
Chargé de projet				Date du début d'étude Date de fin d'étude		
Etude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Ministère des Transports du Québec Service de la modélisation et des bases de données 35, rue de Port-Royal Est, 1^{er} étage Montréal (Québec) H3L 3T1				Etude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme)		
But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires <p>Le but de cette publication est de regrouper les tronçons de la Métropolitaine entre les autoroutes A13 et A25 selon le comportement de la relation Débit/Vitesse à partir des données de l'enquête sur les véhicules entrant/sortant effectuée en 1991.</p>						
Résumé du rapport <p>L'enquête sur les véhicules entrant/sortant de la Métropolitaine a consisté à traiter l'information vidéo des caméras installées à chaque entrée et à chaque sortie pour saisir la plaque d'immatriculation, l'heure d'entrée ou de sortie et le type de véhicule pour chaque véhicule transitant sur la Métropolitaine. Les temps de parcours obtenus de l'enquête en minutes occasionnent une imprécision dans la détermination des vitesses des véhicules. Nous examinons l'impact de l'erreur induite par les secondes manquantes sur des vitesses moyennes.</p> <p>Les données de l'enquête portent sur les véhicules jumelés pour lesquels nous connaissons les ponts d'entrée et de sortie de la Métropolitaine (jumelage de l'entrée et de la sortie du véhicule) ainsi que la vitesse, et des véhicules non jumelés pour lesquels l'entrée ou bien la sortie est manquante (également la vitesse). Nous estimons les données manquantes sur les véhicules non jumelés à partir de la distribution des véhicules jumelés par entrée/tranche de temps.</p> <p>Un modèle de simulation dynamique de la Métropolitaine est proposé par tranche de temps et par tronçon de route pour obtenir les couples Délai/Débit nécessaires à l'analyse de la relation Délai/Débit.</p> <p>Un cadre d'analyse de la relation Délai/Débit est également développé, permettant d'examiner la Métropolitaine est et la Métropolitaine ouest en périodes de pointe. Il en résulte que la Métropolitaine se découpe en huit groupes de segments avec des caractéristiques différentes pour la relation Délai/Débit. La capacité de ces segments oscille entre 1 650 et 2 200 véhicules/heure-voie.</p> <p>Depuis la mise en place du nouveau régime de financement du transport des écoliers en 1982, le ministère des Transports du Québec doit s'assurer que le mode de financement répond toujours aux besoins et apporter, s'il y a lieu, les correctifs appropriés.</p>						
Nbre de pages	Nbre de photos	Nbre de figures	Nbre de tableaux	Nbre de références bibliographiques	Langue du document <input type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Anglais	Autre (spécifier)
Mots-clés Autoroute Métropolitaine; Courbes Volume/Délai; Enquête sur les véhicules entrant/sortant; Relation Débit/Vitesse; Simulation dynamique d'une route				Autorisation de diffusion <input type="checkbox"/> Diffusion autorisée <input type="checkbox"/> Diffusion interdite		
				Signature du directeur général <i>Liguori Hauze</i> 195/02/20 Date		

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
1. Traitement de l'enquête effectué par Dessau	3
2. Données de base de l'enquête	5
3. Modèle de simulation dynamique d'une route à partir des entrées/sorties des véhicules	9
4. Mesure de la durée des déplacements	19
5. Préparation des données	25
6. Estimation des données manquantes	31
7. Application du modèle de simulation dynamique	35
8. Analyse des résultats pour la relation Délai/Débit	45
8.1 Intégration des résultats obtenus par la simulation dynamique	45
8.2 Cadre d'analyse de la relation Délai/Débit	48
8.3 Analyse de la relation Délai/Débit	52
9. Conclusion	75
ANNEXE A	Couples Délai/Débit en périodes de pointe en 1991 pour chaque tronçon de la Métropolitaine Est et de la Métropolitaine Ouest (77)
ANNEXE B	Estimation des paramètres de la relation Délai/Débit pour chaque tronçon de la Métropolitaine Est et de Métropolitaine Ouest (103)
ANNEXE C	Analyse conceptuelle de la modélisation de la relation Volume/Délai (127)
ANNEXE D	Fichiers du programme source SIMDYN en langage C pour la simulation dynamique d'une route à partir des entrées/sorties sur les véhicules (139)

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Découpage de la Métropolitaine Est entre les autoroutes A13 et A25 avec les entrées/sorties attenantes	26
Figure 2	Découpage de la Métropolitaine Ouest entre les autoroutes A13 et A25 avec les entrées/sorties attenantes	27
Figure 3	Comparaison des variations de flots d'un tronçon à l'autre avec les flots nets aux entrées/sorties de DESSAU Métropolitaine Est en pointe du matin - 1991	41
Figure 4	Comparaison des variations de flots d'un tronçon à l'autre avec les flots nets aux entrées/sorties de DESSAU Métropolitaine Ouest en pointe du matin - 1991.	42
Figure 5	Comparaison des variations de flots d'un tronçon à l'autre avec les flots nets aux entrées/sorties de DESSAU Métropolitaine Est en pointe du soir - 1991	43
Figure 6	Comparaison des variations de flots d'un tronçon à l'autre avec les flots nets aux entrées/sorties de DESSAU Métropolitaine Ouest en pointe du soir - 1991	44
Figure 7	Couples Délai/Débit par tranche de 10 minutes pour la Métropolitaine Est en période de pointe du matin - 1991	53
Figure 8	Couples Délai/Débit par tranche de 10 minutes pour la Métropolitaine Ouest en période de pointe du matin - 1991 ...	54
Figure 9	Couples Délai/Débit par tranche de 10 minutes pour la Métropolitaine Est en période de pointe du soir - 1991	55

Figure 10	Couples Délai/Débit par tranche de 10 minutes pour la Métropolitaine Ouest en période de pointe du soir - 1991	56
Figure 11	Évolution des débits instantanés en période de pointe du matin sur la Métropolitaine Est au niveau de l'autoroute 13	57
Figure 12	Localisation des catégories de tronçons de la Métropolitaine pour la relation Délai/Débit	65
Figure 13	Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 1 des tronçons de la Métropolitaine . . .	66
Figure 14	Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 2 des tronçons de la Métropolitaine . . .	67
Figure 15	Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 3 des tronçons de la Métropolitaine . . .	68
Figure 16	Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 4 des tronçons de la Métropolitaine . . .	69
Figure 17	Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 5 des tronçons de la Métropolitaine . . .	70
Figure 18	Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 6 des tronçons de la Métropolitaine . . .	72
Figure 19	Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 7 des tronçons de la Métropolitaine . . .	73
Figure 20	Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 8 des tronçons de la Métropolitaine . . .	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Classification des véhicules dans l'enquête sur la Métropolitaine par DESSAU	7
Tableau 2	Classification simplifiée des véhicules dans l'enquête sur la Métropolitaine	8
Tableau 3	Le nombre de véhicules jumelés et non jumelés sur la Métropolitaine par période et par direction	29
Tableau 4	Le nombre d'automobiles pour les entrées/sorties d'ordre plus petit ou égal à trois tronçons à partir de la matrice de DESSAU en période de pointe du matin pour la Métropolitaine Est - 1991	36
Tableau 5	Facteur d'équivalence par classe de véhicules	46
Tableau 6	Nombre de voies pour chaque tronçon de la Métropolitaine ..	47
Tableau 7	Regroupement des tronçons suivant l'analyse des paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour la Métropolitaine en direction Est	60
Tableau 8	Regroupement des tronçons suivant l'analyse des paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour la Métropolitaine en direction Ouest	61
Tableau 9	Paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour chaque groupe de tronçons de la Métropolitaine A40	63

INTRODUCTION

En mai 1991, le Ministère des Transports entreprenait une vaste enquête origine-destination aux entrées et aux sorties de l'autoroute Métropolitaine (A40) entre l'autoroute A13 et l'autoroute A25 pour établir un portrait précis de l'utilisation de la Métropolitaine avec une classification des véhicules, la distance parcourue, les tronçons utilisés, les temps de parcours et le moment d'entrée sur l'autoroute.

C'est à partir d'un relevé de plaques d'immatriculation, au moyen de caméras à chaque entrée et chaque sortie et par le relevé du passage du véhicule à l'entrée et à la sortie, qu'ont été réalisées les bases de données de cette enquête (toutes les entrées et les sorties de la A40 entre l'autoroute A13 et l'autoroute A25 ont ainsi fait partie de l'enquête). Un traitement subséquent a consisté à jumeler les numéros d'immatriculation entre les relevés pris aux entrées et les relevés pris aux sorties. On obtenait ainsi l'enregistrement de chaque véhicule avec le numéro de l'entrée, le moment de son entrée (à la minute près), le numéro de la sortie, le moment de sa sortie, et un numéro de classification du véhicule.

L'enquête origine-destination aux entrées et aux sorties a été effectuée le mardi 4 juin 1991 pour la Métropolitaine en direction est, et le mercredi 5 juin 1991 pour la direction ouest. Les relevés ont été réalisés durant ces deux jours et ils couvraient trois périodes de la journée : les périodes de pointe du matin (6 h à 9 h) et du soir (15 h 30 à 18 h 30) ainsi qu'une période hors pointe (11 h à 13 h).

C'est donc à partir de l'information disponible de cette enquête sur la Métropolitaine que nous élaborons une méthode de simulation dynamique de ces véhicules sur la Métropolitaine par tranches de temps et par tronçon afin d'obtenir des couples Délai/Débit où le délai s'exprime en nombre de minutes par kilomètre et le débit représente le nombre

de véhicules équivalents (à l'automobile) par heure et par voie de circulation. Ces derniers résultats nous permettront alors de cerner la relation Délai/Débit en ce qui concerne les divers tronçons de la Métropolitaine entre l'autoroute A13 et l'autoroute A25. Nous considérons les deux périodes de pointe de la journée, à savoir celle du matin et celle du soir puisque c'est durant ces périodes que s'observe le trafic le plus intense.

1. TRAITEMENT DE L'ENQUÊTE EFFECTUÉ PAR DESSAU

Le traitement effectué par DESSAU¹ des données de l'enquête origine-destination a consisté principalement dans le jumelage des numéros de plaques d'immatriculation entre l'entrée du véhicule et la sortie du véhicule de la Métropolitaine pour chaque période de la journée considérée. Le jumelage se subdivisait en trois sous-étapes : le jumelage parfait (avec le même numéro d'immatriculation et deux occurrences du véhicule seulement), le jumelage de plusieurs occurrences d'un même véhicule (même plaque d'immatriculation avec plusieurs entrées et sorties et temps de parcours plausible), le jumelage plausible (plaques d'immatriculation avec un caractère différent et deux occurrences du véhicule seulement avec un temps de parcours plausible).

Dans le traitement subséquent, Dessau a remplacé par une moyenne effectuée à partir du nombre de véhicules enregistrés pour un même nombre de minutes les données des moments manquants. L'absence de tels relevés est causée par la durée limitée des piles des caméras. Elles ont une autonomie variant de 90 à 120 minutes; celle des cassettes ayant une durée de deux heures par rapport à la durée des périodes de pointe considérées (entre 3 et 4 heures). L'ampleur des données manquantes est relativement faible (de l'ordre de 2 à 3 minutes sur une période de 180 à 210 minutes).

Ainsi, dans les véhicules non jumelés, nous retrouvons certains véhicules ayant été enregistrés à l'entrée, mais non à la sortie et vice versa (les données manquantes, en raison de l'absence de relevés, s'y retrouvent en grande partie). La majeure partie des véhicules non jumelés vient de l'impossibilité de jumeler l'entrée et la sortie d'un véhicule. C'est

¹ DESSAU-LGL. *Étude de l'autoroute Métropolitaine (A40) dans un horizon de planification de 20 ans - Enquêtes et observations - circulation, document de travail 104.2, 19 mars 1992.*

pourquoi DESSAU a eu recours à la méthode de Furness pour équilibrer le nombre de véhicules manquants aux entrées ou aux sorties selon la répartition de la majorité des véhicules afin de produire les matrices des entrées et sorties pour les périodes considérées.

2. DONNÉES DE BASE DE L'ENQUÊTE

Les données de base de l'enquête origine-destination sur la Métropolitaine utilisées dans l'établissement de la relation Délai/Débit consistent d'une part, à prendre l'ensemble des véhicules jumelés par direction (Est² et Ouest) de la Métropolitaine pour chacune des deux périodes de pointe de la journée, s'étalant de 6 h à 9 h 30 dans le cas du matin et de 15 h 30 à 19 h 00 dans le cas du soir et d'autre part, à considérer l'ensemble des véhicules non jumelés par direction de la Métropolitaine et pour les mêmes périodes. Le débordement des plages horaires des périodes de pointe de la journée provient de la nécessité de couvrir les véhicules entrant en fin de période (par exemple, un véhicule se présentant à l'entrée de la Métropolitaine Est en provenance de la A13 Nord vers 8 h 45, et dont la sortie serait la A25 Sud, parcourt la Métropolitaine en un temps qui déborde 9 h). Ainsi, on devra considérer une plage variable à l'intérieur des périodes de pointe en fonction du tronçon de la Métropolitaine considéré pour obtenir une image complète de la dynamique dans l'utilisation des données de la Métropolitaine. DESSAU s'est limité aux plages de 6 h à 9 h pour la période de pointe du matin et de 15 h 30 à 18 h 30 pour la période de pointe du soir.

Pour une direction donnée (Est ou Ouest) de la Métropolitaine et pour une période de pointe de la journée considérée (matin ou soir) les données de base que nous utiliserons sont les suivantes :

Pour chaque véhicule jumelé :

OPOSTE le numéro de l'entrée pour la Métropolitaine;

DPOSTE le numéro de la sortie de la Métropolitaine;

² Chaque direction apparaît avec sa première lettre en majuscule afin de faciliter la lecture du document.

- OHEURE** l'heure d'entrée du véhicule pour la Métropolitaine sous forme HH:MM;
- DHEURE** l'heure de sortie du véhicule de la Métropolitaine sous forme HH:MM;
- DURÉE** le temps de parcours du véhicule sur la Métropolitaine en minutes (qui est la différence entre DHEURE et OHEURE);
- CONFIG** le numéro de classification attribué au véhicule lors de son entrée sur la Métropolitaine.

Pour chaque véhicule non jumelé :

- POSTE** le numéro de l'entrée ou de la sortie associé au véhicule non jumelé;
- HEURE** l'heure d'entrée ou de sortie du véhicule non jumelé (observation en concordance avec POSTE);
- CONFIG** le numéro de classification attribué au véhicule (observation en concordance avec POSTE).

Ces données nous ont été fournies par DESSAU. Il convient de préciser que chaque entrée et chaque sortie de la Métropolitaine, entre les autoroutes A13 et A25, sont représentées par des numéros uniques. De plus, chaque voie prise au début et à la fin de la Métropolitaine, dans la partie concernée, est représentée comme une entrée ou comme une sortie suivant le cas pour avoir l'ensemble des véhicules transitant sur la Métropolitaine durant les périodes considérées. Chaque poste de caméra est associé avec une entrée ou une sortie. L'établissement du numéro de l'entrée et du numéro de sortie est décrit dans les documents de DESSAU sur l'enquête. La classification des véhicules utilisée par DESSAU permet de classer les véhicules (voir le tableau 1).

Tableau 1
Classification des véhicules dans l'enquête
sur la Métropolitaine par DESSAU³

NUMÉRO DE CLASSIFICATION DESSAU	DESCRIPTION DU VÉHICULE
1	Automobile
2	Camion 2 essieux, 4 roues, boîte 20 pieds
3	Camion 2 essieux, 6 roues, boîte 20 pieds
4	Camion 2 essieux, 6 roues, boîte 30 pieds
5	Camion 3 essieux, 10 roues
6	Camion remorque 3 essieux
7	Camion remorque 4 essieux
8	Camion remorque 5 essieux
9	Camion remorque 6 essieux
10	Camion remorque 7 essieux
11	Train routier
12	Camions à ordures
13	Bétonnière
14	Autobus scolaire
15	Autobus commercial
16	Camion 4 essieux, 12 roues

Puisque la notion de débit de véhicules que nous devons utiliser dans le cadre de la relation Délai/Débit doit faire appel à une unité de véhicule type (c'est-à-dire que le débit doit s'exprimer en véhicules équivalents à l'automobile) nous traiterons les véhicules par classe de véhicules pour pouvoir éventuellement obtenir un débit global de véhicules équivalents.

³ DESSAU-LGL. *Étude de l'autoroute Métropolitaine (A40) dans un horizon de planification de 20 ans - Enquêtes et observations - circulation, document de travail 104.2, 19 mars 1992, p. 9-10.*

C'est pourquoi nous considérons une classification simplifiée des véhicules à partir de la classification de DESSAU pour nos besoins (voir le tableau 2).

Tableau 2
Classification simplifiée des véhicules
dans l'enquête sur la Métropolitaine

NUMÉRO DE CLASSIFICATION SIMPLIFIÉE	CORRESPONDANCE AVEC LA CLASSIFICATION DE DESSAU	DESCRIPTION DES VÉHICULES
1	1	Automobile
2	2, 3, 4 et 5	Camion léger
3	6, 7, 8, 9, 10, 11 et 16	Camion remorque
4	12 et 13	Camion lourd
5	14 et 15	Autobus

3. MODÈLE DE SIMULATION DYNAMIQUE D'UNE ROUTE À PARTIR DES ENTRÉES/SORTIES DES VÉHICULES

Il convient maintenant d'établir un modèle de simulation dynamique d'une route à partir d'informations sur les véhicules aux entrées/sorties qui permettra d'utiliser les données de la Métropolitaine. Le modèle devra fournir les vitesses (ou les délais équivalents) et les débits par tronçon de route et par tranche de temps par simulation des véhicules entrant sur la route. Il est évident que la route est considérée comme directionnelle. Une route avec deux sens équivaut à deux routes unidirectionnelles.

Nous définissons un tronçon de route comme étant un segment de la route où il n'y a aucune interférence (c'est-à-dire qu'aucun véhicule n'entre ou ne sort sur ce segment de la route sauf aux extrémités). En conséquence, le découpage d'une route en tronçons se fait en fonction des entrées et des sorties sur cette route unidirectionnelle. C'est ainsi qu'à chaque extrémité d'un tronçon on retrouve soit une entrée soit une sortie.

Posons ainsi n points p_1, p_2, \dots, p_n divisant la route unidirectionnelle, considérée où chaque entrée et chaque sortie correspond à un point p_i et où à chaque point p_i il y a au moins soit une entrée soit une sortie. Il y a donc $n-1$ tronçons (p_i, p_{i+1}) , $i = 1, \dots, n-1$, qui constitue la route à étudier. Pour simplifier la notation, le tronçon (p_i, p_{i+1}) sera représenté par p_i . On aura donc n tronçons p_i $i = 1, \dots, n$ où le dernier tronçon sert uniquement pour le modèle (tronçon fictif).

Les informations sur le véhicule «a» aux entrées/sorties se définissent alors pour $a = 1, \dots, A$ (considérons une classe de véhicules donnée) :

p_{ia} le point d'entrée du véhicule «a»;

p_{ja} le point de sortie du véhicule «a»;

- v_a la vitesse moyenne entre les points d'entrée et de sortie pour le véhicule «a»;
- h_a l'heure d'entrée du véhicule «a».

Il s'agit donc d'obtenir la vitesse moyenne et le débit en véhicules par tronçon et par tranche de temps. Soit donc L tranches de temps couvrant la période considérée, chaque tranche de temps étant d'une durée δt . Sans perte de généralité et pour fin de simplification supposons que le début de la période considérée équivaut à $h = 0$ (C.-À-D. $h_a \geq 0$).

Les variables résultantes à obtenir sont :

- $F_{i,l}$ le nombre de véhicules (de la classe considérée) sur le tronçon p_i à la tranche de temps l (plus précisément le nombre de véhicules qui passent par le point initial du tronçon p_i durant la tranche de temps l);
- $V_{i,l}$ la vitesse moyenne pour le tronçon p_i et pour la tranche de temps l des $F_{i,l}$ véhicules qui y passent.

Le délai (en min/km) s'obtient directement par la valeur résultante de l'expression :

$$60 / V_{i,l}$$

Posons d_i la longueur du tronçon p_i ; ainsi la détermination de la longueur du trajet sur la route du véhicule «a» de p_{ia} à p_{ja} s'obtient par la formule :

$$d_{ij} = \sum_{k=i}^{j-1} d_k \quad \text{où } i=ia \text{ et } j=ja.$$

Une façon simplifiée d'élaborer sur la simulation des A véhicules serait de considérer la vitesse moyenne sur l'ensemble du trajet d'un véhicule comme une vitesse uniforme, donc la même vitesse sur chacun des tronçons du trajet.

Il s'agirait alors de déterminer sur chacun de ces tronçons la tranche de temps dans laquelle se trouve le véhicule. Soit $l(k)$ la tranche de temps où le véhicule passe sur le tronçon k , C.-À.-D. :

$$l(k) = [(h_a + d_{ik}/v_a)/\delta t]$$

où p_i est le point d'entrée du véhicule «a» ($i = ia$) et les parenthèses carrées [] signifient une troncation en nombre entier de la valeur à l'intérieur de celles-ci. Ainsi, comptabiliser le flot par incrément d'une unité sur le véhicule «a» devient :

$$F_{k,l(k)} = F_{k,l(k)} + 1 \quad \text{pour } k = i, \dots, j-1 \quad (\text{où } i=ia \text{ et } j=ja).$$

De même, la formule pour comptabiliser les temps de parcours de tronçons pour chaque véhicule «a» en véhicule-heures (la variable $T_{k,l(k)}$) est :

$$T_{k,l(k)} = T_{k,l(k)} + d_k/v_a \quad \text{pour } k = i, \dots, j-1 \quad (\text{où } i=ia \text{ et } j=ja).$$

La vitesse moyenne désirée s'obtient par :

$$V_{i,l} = F_{i,l} \cdot d_i / T_{i,l} \quad \text{pour } i = 1, \dots, n-1$$

$$l = 1, \dots, L \text{ et } T_{i,l} > 0.$$

La précédente formulation est désignée comme une méthode simplifiée. Or, le prochain modèle propose une estimation de la vitesse du véhicule sur chaque tronçon de son trajet (différente d'un tronçon à l'autre) telle que la vitesse moyenne sur tout le trajet est respectée. De façon théorique, énonçons la vitesse instantanée sur chaque point du trajet d'un véhicule comme une fonction de la distance. Il arrive que la vitesse moyenne v_a sur le trajet de x_i à x_j du véhicule est fournie par :

$$v_a = \frac{\int_{x_i}^{x_j} dx}{\int_{x_i}^{x_j} \frac{dx}{v(x)}}$$

Si on se borne à un niveau discret (C.-À.-D. agrégé par tronçon) la précédente formule dans le cas d'un véhicule dont le trajet est constitué des tronçons $p_i, p_{i+1}, \dots, p_{j-1}$ devient :

$$v_a = \frac{\sum_{k=i}^{j-1} d_k}{\sum_{k=i}^{j-1} \frac{d_k}{v_k}} \quad (1)$$

On a donc la relation (1) qui doit être respectée entre la vitesse moyenne v_a sur l'ensemble du trajet et les différentes vitesses v_k sur les tronçons du trajet pour un véhicule donné. Supposons maintenant que nous ayons des vitesses par tronçon v'_k telles que les vitesses v_k sont corrélées aux vitesses v'_k de façon directe par la relation (où α est une constante) :

$$v_k = \alpha \cdot v'_k \quad (2)$$

Il apparaît que, la relation (1) devant être respectée, la valeur de α doit être :

$$\alpha = v_a \cdot \frac{\sum_{k=i}^{j-1} \frac{d_k}{v'_k}}{\sum_{k=i}^{j-1} d_k} \quad (3)$$

En conclusion, étant donné une vitesse moyenne v_a pour le trajet d'un véhicule et des vitesses v'_k corrélées aux vitesses v_k sur les tronçons du trajet pour le véhicule, alors les vitesses v_k sont déterminées directement par les relations (2) et (3). Autrement dit, si on considère les vitesses v'_k sur les tronçons comme des poids relatifs à la vitesse moyenne v_a pour estimer les vitesses sur chaque tronçon du véhicule considéré, alors la valeur α obtenue de la relation (3) est une normalisation de ces poids sur la base des temps de parcours.

Il suffit donc de trouver des estimateurs pour les vitesses v'_k pour chaque véhicule «a» où le paramètre α_a associé au véhicule «a» est donné par la relation (3).

Pour nous permettre de trouver de tels estimateurs, nous introduisons la notion de segment E/S qui n'est autre qu'une suite séquentielle de tronçons telle qu'au point initial du premier tronçon est associée une entrée et qu'au point final du dernier tronçon est associée une sortie. Formellement un segment E/S est une suite de tronçons :

p_i, p_{i+1}, \dots, p_j où une entrée existe au point p_i
 et une sortie existe au point p_{j+1} .

Notez bien que la convention utilisée pour désigner le trajet d'un véhicule «a» par rapport au segment E/S correspondant (p_i, \dots, p_j) implique que $i = i_a$ et que $j = j_a + 1$.

L'ordre d'un segment E/S est le nombre de tronçons composant le segment. Ainsi suivant la précédente définition, le segment E/S est d'ordre $j-i+1$ (l'ordre du segment E/S correspondant au trajet d'un véhicule «a» du point p_{i_a} au point p_{j_a} est alors $j_a - i_a$). Il s'ensuit qu'à tout trajet de véhicule correspond un segment E/S. Si on considère tous les véhicules dont le trajet est un segment E/S d'ordre plus petit ou égal à M , avec la vitesse sur chaque tronçon du trajet égale à la vitesse moyenne du trajet, on obtient, suivant la formulation de la méthode simplifiée énoncée plus haut, des vitesses :

$v'_{i,l}$ pour des tronçons i entre 1 et $n-1$
 et des tranches de temps l entre 1 et L .

Si $M = n-1$ alors $v'_{i,l} = V_{i,l}$ (résultats de la méthode simplifiée) et pour tous les tronçons i on a une vitesse $v'_{i,l}$ moyenne estimée pour plusieurs tranches de temps l en vertu qu'implicitement au point p_1 correspond nécessairement une entrée et au point p_n une sortie.

Si $M = 1$, on obtient pour certains tronçons et pour certaines tranches de temps une vitesse moyenne estimée qui est la plus précise possible puisqu'un segment d'ordre 1 correspond à un seul tronçon.

Ainsi, dépendant du problème à traiter, il convient d'évaluer la valeur M qui donne un nombre suffisant de véhicules pour obtenir des vitesses moyennes estimées par tronçon et par tranche de temps, tout en ayant à l'esprit que plus la valeur de M augmente, moins les vitesses moyennes estimées sont précises comme estimateurs sur un tronçon et sur une tranche de temps donnés. Par exemple, la matrice des véhicules entrée/sortie sur la période considérée permet d'évaluer une valeur M minimale et qui rencontre certains critères sur cette matrice. Un tel critère peut être l'examen des paires entrée/sortie pour chaque entrée et pour chaque sortie classées suivant leur ordre (chaque paire entrée/sortie est un segment E/S) où le nombre de véhicules est suffisant (ainsi, un nombre de véhicules supérieur à $m \cdot L$ où L est le nombre de tranches et m est un nombre de véhicules par tranche souhaitable statistiquement aux fins d'estimation de moyennes). Dans le cas de la Métropolitaine⁴, nous avons utilisé la valeur $M = 3$.

Étant donné des vitesses moyennes estimées $v'_{i,l}$ sur certains tronçons et certaines tranches de temps lorsque le paramètre M est fixé, nous proposons, pour obtenir une vitesse moyenne estimée pour chaque tronçon et pour chaque tranche de temps, de faire des extrapolations et des intrapolations suivant le cas. Les extrapolations consistent essentiellement à reproduire les mêmes vitesses moyennes estimées au cas des vitesses manquantes pour les extrémités (tronçons et tranches de temps) alors que les intrapolations sont de nature linéaire. A priori, posons $v'_{i,l} > 0$ pour une vitesse moyenne estimée obtenue et $v'_{i,l} = 0$ pour une vitesse manquante.

⁴ On sait que le temps passé dans les rampes entrée/sortie peut biaiser le temps considéré pour le tronçon Autoroutier proprement dit, dépendant de la position des caméras. Mais comme ces vitesses $v'_{i,l}$ sont utilisées elles-mêmes comme des poids sur la vitesse moyenne du trajet d'un véhicule, le précédent biais est minimisé.

Dans une première étape, il s'agit d'intrapoler/extrapoler pour les tranches de temps sur les tronçons où il existe des vitesses moyennes estimées. Soit i un tel tronçon (il existe une tranche l avec $v'_{i,l} > 0$), alors chaque vitesse manquante $v'_{i,l'}$ s'estime suivant un des trois cas :

$$v'_{i,l'} = v'_{i,l} \quad \text{pour } l' = 1, 2, \dots, l-1 \\ \text{où } v'_{i,l'} = 0 \text{ et } v'_{i,l} > 0;$$

$$v'_{i,l'} = v'_{i,l} \quad \text{pour } l' = l+1, l+2, \dots, L \\ \text{où } v'_{i,l'} = 0 \text{ et } v'_{i,l} > 0;$$

$$v'_{i,l'} = v'_{i,l_1} + w(l') \cdot (v'_{i,l_2} - v'_{i,l_1}), \\ \text{avec } w(l') = (l' - l_1) / (l_2 - l_1) \\ \text{pour } l' = l_1 + 1, l_1 + 2, \dots, l_2 - 1 \text{ où} \\ l_1 < l_2 - 1, v'_{i,l'} = 0, v'_{i,l_1} > 0 \text{ et } v'_{i,l_2} > 0.$$

En deuxième étape, pour les tronçons sans aucune vitesse moyenne estimée on intrapole/extrapole ces tronçons. Soit i' un tel tronçon qui s'estime suivant un des trois cas (sur l'ensemble des tranches de temps l) :

$$v'_{i',l} = v'_{i',1} \quad \text{pour } i' = 1, 2, \dots, i'-1 \\ \text{où } v'_{i',l} = 0 \text{ et } v'_{i',1} > 0;$$

$$v'_{i',l} = v'_{i',i} \quad \text{pour } i' = i+1, i+2, \dots, n \\ \text{où } v'_{i',l} = 0 \text{ et } v'_{i',i} > 0;$$

$$v'_{i',1} = v'_{i1,1} + w(i') \cdot (v'_{i2,1} - v'_{i1,1}),$$

avec $w(i') = (i' - i1)/(i2 - i1)$
pour $i' = i1 + 1, i1 + 2, \dots, i2 - 1$ où
 $i1 < i2 - 1, v'_{i',1} = 0, v'_{i1,1} > 0$ et $v'_{i2,1} > 0$.

Nous postulons donc que les vitesses par tronçon du trajet d'un véhicule sont corrélées avec les vitesses moyennes estimées $v'_{i,1}$ en fonction du temps (C.-À.-D. de la tranche de temps sur le tronçon du trajet). Il s'agit, étant donné ces vitesses moyennes estimées $v'_{i,1}$, de trouver une approximation de la tranche de temps, notée $l'(k)$, par tronçon k du trajet du point p_{ia} au point p_{ja} d'un véhicule «a» donné, soit :

$$l'(i) = [h_a / \delta t];$$

$$l'(k) = [(h_a + (\sum_{u=ia}^{k-1} d_u / v'_{u,l'(u)})) / \delta t]$$

pour $k = ia + 1, \dots, ja - 1$.

Suivant notre postulat nous utilisons donc les vitesses suivantes pour le véhicule «a» donné :

$$v'_k = v'_{k,l'(k)} \text{ pour } k = ia, \dots, ja - 1.$$

Suivant la relation (3), nous pouvons déterminer la valeur α_a de telle sorte que la relation (2) nous fournit la vitesse v_k par tronçon.

Afin d'obtenir les résultats souhaités, nous recalculons les tranches de temps conséquentes avec les vitesses v_k , en fonction des vitesses moyennes estimées $v'_{k,1}$, à savoir :

$$l(i) = [h_a / \delta t];$$

$$l(k) = [(h_a + (\sum_{u=ia}^{k-1} d_u / (\alpha_a \cdot v'_{u,l'(u)}))) / \delta t]$$

pour $k = ia + 1, \dots, ja - 1$.

Ainsi comptabiliser le flot par incrémentation unitaire sur le véhicule «a» se résume à :

$$F_{k,l(k)} = F_{k,l(k)} + 1 \text{ pour } k = ia, \dots, ja - 1.$$

De même, comptabiliser les temps de parcours de tronçons pour le véhicule «a» en véhicule-heures par la variable $T_{k,l}$ devient :

$$T_{k,l(k)} = T_{k,l(k)} + d_k / (\alpha_a \cdot v'_{k,l(k)}) \text{ pour } k = ia, \dots, ja-1.$$

On obtient la vitesse moyenne désirée par :

$$V_{i,l} = F_{i,l} \cdot d_i / T_{i,l} \quad \text{pour } i = 1, \dots, n-1 \text{ et} \\ l = 1, \dots, L.$$

4. MESURE DE LA DURÉE DES DÉPLACEMENTS

Avant de décrire le traitement effectué sur les données de la Métropolitaine, nous examinons la problématique reliée à l'imprécision des temps de parcours obtenus par l'enquête.

Les temps de parcours sont calculés sur la base de la différence des heures de sortie et d'entrée de chaque véhicule. Or, ces heures sont fournies à la minute près (HH:MM). C'est donc dire que les temps de parcours obtenus sont imprécis à plus ou moins une minute. Si on considère des temps de parcours moyens (ou l'équivalent des vitesses moyennes), il serait intéressant de connaître l'ampleur de l'imprécision de ces temps.

Nous représentons les heures d'entrée et de sortie d'un véhicule à la seconde près respectivement par $H1:M1:S1$ et $H2:M2:S2$. Ici, les variables $S1$ et $S2$ sont inconnues. Posons que les variables $S1$ et $S2$ sont distribuées uniformément et sont exprimées en fraction de minute.

Ainsi, $T1 = 60 \cdot H1 + M1$ et $T2 = 60 \cdot H2 + M2$ sont les heures d'entrée et de sortie en minutes d'un véhicule sur la Métropolitaine. Alors, le temps de parcours s'exprime comme :

$$T = (T2 + S2) - (T1 + S1),$$

c'est-à-dire que

$$T = (T2 - T1) + (S2 - S1)$$

où $S2 - S1$ est inconnue et égale à zéro par défaut dans le cas de la Métropolitaine. $S1$ et $S2$ sont uniformément distribuées entre 0 seconde et 59 secondes et considérées en minutes; cela se traduit par la distribution de probabilités suivante :

$$\Pr(S1 = s/59) = \Pr(S2 = s/59) = 1/60 \text{ pour } s = 0, 1, \dots, 59.$$

Ainsi

$$\sum_{s=0}^{59} \Pr(S1 = \frac{s}{59}) = \sum_{s=0}^{59} \Pr(S2 = \frac{s}{59}) = 1.$$

Par contre, la variable (S2-S1) n'est pas distribuée uniformément. S2-S1 prend les 119 valeurs suivantes :

$$-59/59, -58/59, \dots, -1/59, 0, 1/59, \dots, 58/59, 59/59.$$

De plus, parce que S1 et S2 sont de même distribution (une variable pouvant être substituée à l'autre) et de nature indépendante, on a que S2-S1 et S1-S2 sont de même distribution, c'est-à-dire

$$\Pr(S2-S1=n) = \Pr(S1-S2=n),$$

ce qui conduit à

$$\Pr(S2-S1=n) = \Pr(S2-S1=-n). \quad (4)$$

Il s'agit donc de connaître la distribution de S2-S1 pour les 60 valeurs non négatives. Il existe 3 600 couples (s1,s2) possibles produisant des valeurs s2-s1 avec la même probabilité. Ainsi pour $N = 0, 1, \dots, 59$ on a que

$$\Pr(S2-S1 = N/59) = (60 - N)/3 600.$$

On a par (4), l'espérance mathématique suivante :

$$E[S2-S1] = \sum_{i=-59}^{59} (\frac{i}{59}) \cdot \Pr(S2-S1 = \frac{i}{59}) = 0. \quad (5)$$

Par ailleurs,

$$E[(S2-S1)^2] = \sum_{i=-59}^{59} (\frac{i}{59})^2 \cdot \Pr(S2-S1 = \frac{i}{59}),$$

$$E[(S2-S1)^2] = 2 \cdot \sum_{i=1}^{59} \left(\frac{i}{59}\right)^2 \cdot Pr(S2-S1=\frac{i}{59}),$$

$$E[(S2-S1)^2] = \left(\frac{2}{59^2 \cdot 60^2}\right) \cdot (60 \cdot \sum_{i=1}^{59} i^2 - \sum_{i=1}^{59} i^3).$$

Sachant que

$$\sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n \cdot (n+1) \cdot (2n+1)}{6} \quad \text{et que} \quad \sum_{i=1}^n i^3 = \frac{n^2 \cdot (n+1)^2}{4},$$

on obtient

$$E[(S2-S1)^2] = 121/354 = 0,34181. \quad (6)$$

Supposons qu'il y ait A véhicules pour lesquels $T_a = T2 - T1$ et $\beta_a = S2 - S1$ sont les variables aléatoires indépendantes pour chaque véhicule «a». Le temps moyen est donné par :

$$\frac{\sum_{a=1}^A T_a}{A} + \frac{\sum_{a=1}^A \beta_a}{A}.$$

Le deuxième terme est inconnu et nous désirons connaître son impact sur le temps moyen.

Soit :

$$\beta = \frac{\sum_{a=1}^A \beta_a}{A}.$$

Il est évident par (5) que

$$E[\beta] = 0.$$

Par ailleurs,

$$E[\beta^2] = \frac{\sum_{a=1}^A \sum_{a'=1}^A E[\beta_a \cdot \beta_{a'}]}{A^2}.$$

Or β_a et $\beta_{a'}$ sont indépendants pour a différent de a' ce qui implique par (5) que :

$$E[\beta_a \cdot \beta_{a'}] = E[\beta_a] \cdot E[\beta_{a'}] = 0,$$

ce qui donne :

$$E[\beta^2] = \frac{\sum_{a=1}^A E[\beta_a^2]}{A^2}$$

et le résultat suivant par (6) :

$$E[\beta^2] = 121 / (A \cdot 354).$$

L'écart-type σ sur β étant la racine carré de la variance de β qui elle-même est :

$$\text{Var}[\beta] = E[\beta^2] - E[\beta]^2 = 121 / (A \cdot 354);$$

on obtient finalement :

$$\sigma = 0,58464 / A^{1/2} \quad (\text{en minutes}).$$

Ainsi l'écart-type de β diminue lorsque A augmente. Par exemple, pour $A = 1$ on a $\sigma = 35,1$ S, pour $A = 10$, $\sigma = 11,1$ S et pour $A = 100$, $\sigma = 3,5$ S. En résumé, la moyenne des temps de parcours obtenue sur plusieurs véhicules à partir des heures et des minutes seulement (le cas de la Métropolitaine) devient suffisamment précise lorsque le débit atteint un niveau important.

Soulignons également que l'erreur induite par les secondes manquantes, dans le cas de la Métropolitaine, a un impact directement proportionnel à la valeur du temps moyen de parcours.

Ainsi le pourcentage d'erreur à un écart-type pour un temps moyen de parcours T est estimé comme :

$$\text{Erreur} = \pm \sigma / T = \pm 0,58464 / (T \cdot A^{1/2}).$$

Dans le cas $A = 1$ (pour un véhicule), l'erreur sur un temps de parcours de 1 minute est de $\pm 58 \%$ alors que pour un temps de parcours de 20 minutes cette erreur est de $\pm 3 \%$. De même en ce qui concerne la vitesse moyenne, l'erreur est d'autant plus grande que le temps de parcours (ou la longueur du trajet) est petit.

C'est ainsi que des vitesses très élevées ont été obtenues pour le trajet de certains véhicules (par exemple 200 km/h) pour la Métropolitaine. C'est l'explication aussi de temps de parcours nuls obtenus pour les entrées/sorties de courtes distances qu'empruntent certains véhicules. En conclusion, il convient d'utiliser des valeurs moyennes dans le cas de la Métropolitaine pour estimer le délai (ou bien la vitesse) afin de minimiser l'erreur induite par les données manquantes sur les secondes. Il convient également, lorsque cela est possible, de corriger la durée de trajet de certains véhicules. On tiendra donc compte de ces points dans le traitement des données de la Métropolitaine.

Le traitement effectué sur les données de la Métropolitaine se décompose en quatre phases faisant l'objet des quatre prochains chapitres :

Préparation des données;

Estimation des données manquantes;

Application du modèle de simulation dynamique;

Analyse des résultats pour la relation Délai/Débit.

Les données de base de la Métropolitaine fournies par DESSAU sont des fichiers de base de données dBASE III. Les traitements effectués sur ces données ont été faits à partir de programmes de commandes dBASE III (compilés), de programmes écrits en langage C et à partir du logiciel EXCEL.

5. PRÉPARATION DES DONNÉES

La première étape de cette phase a consisté à élaborer la liste des tronçons (C.-À.-D. des points p_i) et leur équivalence avec les entrées/sorties de la Métropolitaine entre les autoroutes A13 et A25 pour chaque direction Est et Ouest dans le but d'utiliser le modèle de simulation dynamique. Les figures 1 et 2 montrent le découpage de la Métropolitaine en plusieurs points ainsi que les entrées/sorties y attendant (pour chaque direction). Les numéros uniques pour les entrées/sorties correspondent à ceux utilisés par DESSAU.

Par ailleurs, nous utilisons les distances inter postes de caméra (à chaque poste de caméra est assignée une entrée ou une sortie) données par DESSAU dans le but d'établir la vitesse du trajet d'un véhicule à partir des données de base (en particulier les variables OPOSTE, DPOSTE et DURÉE) pour chaque véhicule jumelé.

Pour chaque véhicule jumelé, la vitesse obtenue est examinée et corrigée au besoin. De plus, nous considérons la variable OCONFIG comme étant celle qui détermine la classe de véhicules. Nous ne pouvons que corriger les vitesses aberrantes (en particulier lorsque $DURÉE = 0$ minute) et sachant que la durée réelle du trajet est comprise entre $DURÉE-1$ et $DURÉE+1$ minutes nous n'examinons que l'intervalle compris entre $DURÉE$ et $DURÉE+1$. Pour ce faire, nous postulons une vitesse maximale de correction de 120 km/h. Cela ne signifie pas que toutes les vitesses seront plus petites ou égales à cette vitesse maximale, mais plutôt que si la vitesse obtenue avec $DURÉE$ minutes est plus grande que la vitesse maximale nous examinons cette vitesse. Pour cette vitesse, une correction du temps de parcours est effectuée entre $DURÉE + \frac{1}{2}$ et $DURÉE + 1$ minutes si on obtient la vitesse maximale; sinon le temps de parcours est considéré comme $DURÉE + 1$ minutes et la vitesse corrigée en conséquence peut être alors plus grande que la vitesse maximale de correction.

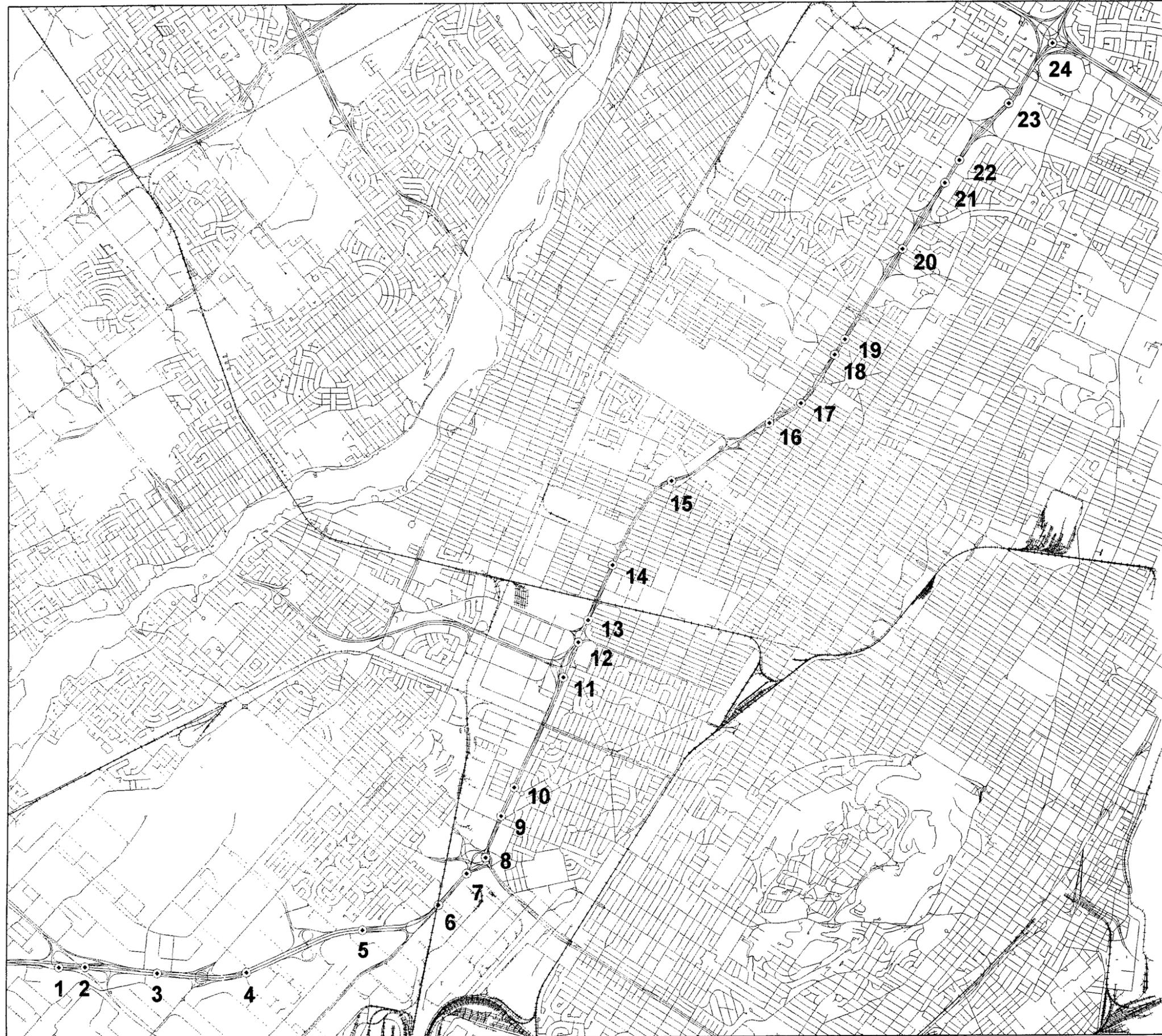


Figure 1

Découpage de la Métropolitaine
Est entre les autoroutes A13 et
A25 avec les entrées/sorties
attendant

Numéro du noeud	Numéro des entrées DESSAU	Numéro des sorties DESSAU
1	4	
2	1,2,3	
3		5
4	6	
5		7
6	9	
7		10
8	11,14,15	
9	16	
10		17
11	18	21
12	19	
13		20
14	22	
15	23	40,41
16		24,25
17		26
18	27	
19		28
20		29
21	30	
22		31
23	32	
24		33,34,36,37



Figure 2

Découpage de la Métropolitaine
Ouest entre les autoroutes A13 et
A25 avec les entrées/sorties
attendant

Numéro du noeud	Numéro des entrées DESSAU	Numéro des sorties DESSAU
1	38,39 42,43,44	
2		45
3	46	
4		47
5	48	
6	49	
7		50
8	51	
9	52	
10		53
11	54	
12		55
13	56	
14	66	57,58
15	59	
16		60
17	8	12,13
18		67
19	62	
20		63
21	64	
22		65
23	68	
24		69,70,71

Ainsi, en posant la distance en km de l'entrée OPOSTE à la sortie DPOSTE comme étant DIST et la durée du trajet en minutes par DURÉE, la règle de correction est exprimée par :

SI $60 \cdot \text{DIST} / \text{DURÉE} \leq 120 \text{ km/h}$ ALORS

Aucune correction n'est effectuée.

SI $60 \cdot \text{DIST} / \text{DURÉE} > 120 \text{ km/h}$ ALORS

SI $60 \cdot \text{DIST} / (\text{DURÉE} + \frac{1}{2}) \leq 120 \text{ km/h}$ ALORS

$\text{DURÉE} = \text{DURÉE} + \frac{1}{2}$

SI $60 \cdot \text{DIST} / (\text{DURÉE} + \frac{1}{2}) > 120 \text{ km/h}$ ET

$60 \cdot \text{DIST} / (\text{DURÉE} + 1) \leq 120 \text{ km/h}$ ALORS

$\text{DURÉE} = 60 \cdot (\text{DIST} / 120 \text{ km/h})$

SI $60 \cdot \text{DIST} / (\text{DURÉE} + 1) > 120 \text{ km/h}$ ALORS

$\text{DURÉE} = \text{DURÉE} + 1.$

Le précédent traitement s'applique également au cas spécial du temps de parcours nul avec $\text{DURÉE} = 0$ (numériquement, le cas est traité en substituant $\text{DURÉE} = 0,00001$). La correction ainsi apportée permet d'utiliser la très grande majorité des véhicules faisant partie de l'étude. À titre d'exemple, pour la Métropolitaine Est en période de pointe du matin, sur les 37 899 véhicules, 2 408 ont été corrigés en regard de leur durée de parcours (dont 1 018 véhicules avec une durée nulle). Après correction, il est resté 327 véhicules dont la vitesse est supérieure à 120 km/h (la vitesse la plus élevée étant 156 km/h).

En ce qui concerne les véhicules non jumelés, nous devons extraire ceux pour lesquels nous avons une entrée (POSTE désigne un numéro d'une entrée), en vue d'un traitement particulier, tel que décrit au chapitre 6.

Le tableau 3 qui suit fournit les nombres de véhicules de l'étude sur la Métropolitaine, par période et par direction.

Tableau 3**Le nombre de véhicules jumelés et non jumelés sur la
Métropolitaine par période et par direction**

PÉRIODE DE LA JOURNÉE ET TYPE DE VÉHICULES	MÉTROPOLITAINE EST	MÉTROPOLITAINE OUEST
POINTE DU MATIN		
Véhicules jumelés	37 899	43 657
Véhicules non jumelés avec entrée connue	10 145	8 144
Véhicules non jumelés avec sortie connue	8 026	10 212
POINTE DU SOIR		
Véhicules jumelés	39 489	50 332
Véhicules non jumelés avec entrée connue	10 983	10 138
Véhicules non jumelés avec sortie connue	13 501	10 549

L'application du cas de la Métropolitaine au modèle de simulation dynamique portera donc sur l'ensemble des véhicules jumelés et des véhicules non jumelés avec entrée connue. Le précédent tableau indique que durant la pointe du matin (de 6 h à 9 h 30) nous allons traiter un total de 48 044 véhicules pour la direction Est et un total de 51 801 véhicules en pour la direction Ouest de la Métropolitaine (pour la pointe du soir on a respectivement 50 472 et 60 470 véhicules). La différence entre le nombre de véhicules non jumelés avec entrée connue et le nombre de véhicules non jumelés avec sortie connue peut être causée par l'arrêt momentané des caméras durant la période ainsi qu'aux véhicules enquêtés au tout début et à la toute fin de la période. Rappelons que les observations pour une entrée ou pour une sortie durant la période de pointe du matin ont été effectuées dans une plage se situant entre 6 h et 9 h 30. Des véhicules peuvent donc entrer avant 6 h ou sortir après 9 h 30.

6. ESTIMATION DES DONNÉES MANQUANTES

Cette phase consiste principalement à obtenir à partir des véhicules jumelés des estimations des données manquantes pour les véhicules non jumelés avec entrée connue, pour une période de pointe et une direction de la Métropolitaine. Les données manquantes pour ces derniers véhicules sont la vitesse et la sortie. Le principe consiste à établir la distribution des véhicules jumelés accédant à une entrée durant une tranche de temps donnée sur les sorties ainsi que les vitesses moyennes résultantes et à appliquer ces distributions aux véhicules non jumelés avec entrée connue par tranche de temps.

Le problème précédent se pose donc de la façon suivante; soit :

L	le nombre de tranches de temps;
E	le nombre d'entrées;
S	le nombre de sorties;
$FJ_{e,s,l}$	le nombre de véhicules jumelés accédant à l'entrée e durant la tranche de temps l et quittant la Métropolitaine à la sortie s;
$VJ_{e,s,l}$	la vitesse moyenne des $FJ_{e,s,l}$ véhicules jumelés;
$FSNJ_{e,l}$	le nombre de véhicules non jumelés avec entrée connue accédant à l'entrée e durant la tranche de temps l.

Les précédentes variables sont directement calculées, car en vertu de la première phase nous avons, pour chaque véhicule jumelé, son numéro d'entrée, son numéro de sortie, sa vitesse ainsi que l'heure à laquelle le véhicule accède à l'entrée (et quelques autres informations) et, par définition, pour chaque véhicule non jumelé avec entrée connue, son numéro d'entrée, l'heure à laquelle le véhicule accède à l'entrée ainsi que son numéro de classification.

Pour une tranche de temps l donnée et une entrée e donnée, les $FSNJ_{e,l}$ véhicules non jumelés sont répartis sur les S sorties à partir de la distribution observée sur les $FSJ_{e,l}$ véhicules jumelés où :

$$FSJ_{e,l} = \sum_{s=1}^S FJ_{e,s,l}$$

Il s'agit donc de répartir chacun des $FSNJ_{e,l}$ véhicules non jumelés sur les S sorties de sorte qu'il y ait $FNJ_{e,s,l}$ véhicules non jumelés pour la sortie s , avec la vitesse moyenne $VJ_{e,s,l}$ où

$$FNJ_{e,s,l} = FJ_{e,s,l} \cdot FSNJ_{e,l} / FSJ_{e,l}$$

Peu importe la répartition utilisée, le fait de respecter la distribution $FNJ_{e,s,l}$ pour une tranche de temps l donnée permet des estimations globales lorsque appliqué au modèle de simulation dynamique (noter que des ajustements mineurs doivent être apportés à $FNJ_{e,s,l}$ si on considère cette dernière variable comme une valeur entière telle que la somme sur les S sorties équivaut à $FSNJ_{e,l}$ nombre entier de véhicules).

La répartition considérée de chacun des $FSNJ_{e,l}$ véhicules non jumelés sur la distribution $FNJ_{e,s,l}$ pour $s = 1, \dots, S$ est la suivante pour une entrée e et une tranche de temps l données :

Soit les $A = FSNJ_{e,l}$ véhicules non jumelés en ordre croissant de leur heure d'entrée h_a ($a = 1, \dots, A$) (on sait que tout h_a est dans la tranche de temps l , par définition, et que $h_1 \leq h_2 \leq \dots \leq h_A$).

Posons initialement $U_s = FNJ_{e,s,l}$ et $C_s = 0$ pour $s = 1, \dots, S$.

Alors, de façon séquentielle,

POUR a = 1, ..., A (boucle de traitement)

concernant le véhicule «a» trouvons s' où

$$U_{s'} - C_{s'} = \underset{1 \leq s \leq S}{\text{MAXIMUM}} (U_s - C_s);$$

alors s' est la sortie et $VJ_{e,s',l}$ est la vitesse du véhicule «a»;

la mise à jour suivante est effectuée

$$C_{s'} = C_{s'} + 1.$$

Le précédent traitement prend la distribution initiale du nombre de véhicules non jumelés avec entrée connue par sortie $FNJ_{e,s,l}$ et attribue pour chaque véhicule non jumelé examiné en ordre de l'heure d'entrée e pour la tranche l, la sortie s' dont la valeur est la plus élevée dans la distribution. La vitesse pour le véhicule est alors $VJ_{e,s',l}$ et cette valeur de la distribution est diminuée d'une unité (la distribution étant $U_s - C_s$). Lorsque les A véhicules non jumelés ont été traités, toutes les valeurs de la distribution résultante sont nécessairement nulles (C.-À.-D. $U_s = C_s$ pour $s = 1, \dots, S$).

C'est dans cette phase également que la classification simplifiée des véhicules est établie suivant le tableau 2. Ainsi, il résulte de cette phase un ensemble de véhicules (jumelés et non jumelés avec entrée connue) avec comme caractéristiques pour chaque véhicule :

- POINT_I le point d'entrée du véhicule suivant le découpage précédemment proposé pour la Métropolitaine;
- POINT_J le point de sortie du véhicule suivant le même découpage;
- HMINUTE l'heure d'entrée du véhicule sur la Métropolitaine en minutes (HH:MM devient $60 \cdot HH + MM$);
- VITESSE la vitesse moyenne pour le trajet du véhicule en km/h;
- CLASSE le numéro de classe suivant la classification simplifiée du tableau 2.

7. APPLICATION DU MODÈLE DE SIMULATION DYNAMIQUE

Un programme informatisé permet le traitement des informations sur les entrées/sorties des véhicules pour une route donnée à partir du modèle de simulation dynamique développé précédemment. Les fichiers du programme source SIMDYN se retrouvent à l'annexe D.

Ce programme requiert un certain nombre de paramètres. En particulier, nous avons fixé la tranche de temps à 10 minutes ($\delta t = 10$) et l'ordre maximal des entrées/sorties (E/S) à trois ($M = 3$). Comme nous l'avons souligné déjà, le nombre de véhicules (automobiles) dont le trajet est un segment d'ordre plus petit ou égal à trois tronçons nous semble suffisant pour l'obtention des vitesses moyennes estimées. À cet égard, le tableau 4 nous présente, pour la période de pointe du matin sur la Métropolitaine en direction Est, la répartition du nombre de ces véhicules à partir de la matrice des automobiles de DESSAU ajustée à l'aide du modèle FURNESS; on constate que des 43 939 automobiles, il y en a 38 % dont le trajet équivaut à au plus 3 tronçons.

De plus, un paramètre d'entrée considère le nombre minimal requis de véhicules observés pour un tronçon k et une tranche de temps l donnés pour permettre le calcul de la vitesse moyenne estimée $v'_{k,l}$ (si ce nombre n'est pas atteint alors $v'_{k,l}$ est manquante et obtenue alors par intrapolation/extrapolation). Dans le cas de la Métropolitaine, étant donné l'imprécision causée par les secondes manquantes sur la durée des trajets des véhicules, le nombre minimal de véhicules requis pour obtenir $v'_{k,l}$ est de 10 véhicules (C.-À.-D. une erreur de ± 11 S). Le programme exige également la longueur en km de chaque tronçon. Finalement, le fichier d'entrée sur les véhicules à traiter provient de la phase précédente.

Des considérations ont été prises en compte concernant l'application du modèle de simulation dynamique. Par convention, la classe de véhicules numéro 1 est celle relative aux

Tableau 4

Le nombre d'automobiles pour les entrées/sorties d'ordre plus petit ou égal à trois tronçons à partir de la matrice de DESSAU en période de pointe du matin pour la Métropolitaine Est - 1991

Numéros des entrées	Numéros des sorties	5	7	10	17	21	20	40	41	24-25	26	28	29	31	33	34	36-37	E/S d'ordre max. trois par entrée	Total par entrée
		Côte-Vertu	A520	Décarie Sud	Stinson	A15 Nord	Saint-Laurent	Saint-Hubert	Chris.Colomb Papineau	Iberville	Saint-Michel	Pie-IX	Lacordaire	Langelier	A25 Nord	A25 Sud	A40 Est		
1-2-3 A40 Est		3 611	993	3 325	1 152	138	950	131	282	145	232	339	233	266	100	347	377	4 604	12 621
4 A13 Sud		525	326	971	373	3	187	36	88	67	48	78	56	87	26	128	58	525	3 057
6 Côte-Vertu			32	193	69	10	61	6	33	13	20	35	25	30	15	26	53	225	621
9 A520				13	249	140	263	44	132	66	104	122	102	114	62	126	151	13	1 688
11 Laurentien					319	65	189	23	94	73	66	110	65	78	37	110	97	384	1 326
14-15 Décarie nord					915	2 099	968	69	240	87	204	317	185	228	146	56	389	3 014	5 903
16 Sainte-Croix					188	276	150	18	44	46	36	77	57	44	31	36	64	464	1 067
18 Rockland							272	18	119	72	92	135	113	112	53	126	115	272	1 227
19 A15							1 579	177	593	355	265	369	269	342	88	570	219	2 349	4 826
22 Saint-Laurent								41	256	207	243	319	255	245	116	284	328	747	2 294
23 Saint-hubert										212	253	500	422	473	237	553	628	465	3 278
27 Saint-Michel												91	418	669	323	638	940	509	3 079
30 Lacordaire														132	340	1 001	1 072	2 545	2 545
32 Langelier															95	147	165	407	407
E/S d'ordre max. trois par sortie		4 136	1 025	206	1 422	2 440	1 851	218	849	419	496	91	418	132	435	1 148	1 237	16 523	
Total par sortie		4 136	1 351	4 502	3 265	2 731	4 619	563	1 881	1 343	1 563	2 492	2 200	2 820	1 669	4 148	4 656		43 939

LÉGENDE : Les cellules encadrées représentent des Entrées/Sorties avec trois tronçons ou moins.

NOTE : Ce tableau est tiré du document de travail Enquêtes et observations - circulation Annexes B à E, 19 mars 1992 (la période du matin s'étant de 6 h à 9 h) du consortium DESSAU-LGL dans le cadre de l'Étude de l'autoroute Métropolitaine (A40) dans un horizon de planification de 20 ans.

automobiles. Les vitesses moyennes estimées $v'_{i,l}$ servant de pondération dans la variation de la vitesse d'un véhicule (peu importe sa classe) sur son trajet ont été obtenues en ne considérant que les automobiles (véhicules de classe 1).

La comptabilisation des temps totaux de parcours par tronçon et par tranche de temps $T_{k,l}$ (exprimés en véhicule-heures) est faite sur l'ensemble des automobiles (véhicules de classe 1) alors que le flot par tronçon et par tranche de temps est obtenu pour chaque classe de véhicules $F_{k,l,c}$. Ainsi la vitesse moyenne désirée $V_{i,l}$ qui résulte du programme ne concerne que les automobiles.

Une contrainte est ajoutée pour tenir compte de vitesses plausibles sur les tronçons du trajet d'un véhicule «a». On sait que le paramètre de normalisation α_a pour l'estimation des vitesses sur les tronçons du véhicule «a» (dont la vitesse moyenne sur l'ensemble du trajet est v_a) est obtenu par la relation (2) :

$$\alpha_a = v_k / v'_k$$

où v_k est la vitesse estimée du véhicule sur le tronçon k et v'_k est une vitesse moyenne de pondération. Pour tenir compte de vitesses plausibles, il faut que chaque v_k soit plausible et ne dépasse pas le maximum entre une vitesse seuil maximale et la vitesse moyenne observée v_a . La vitesse seuil maximale a été fixée à 120 km/h dans le programme. Ainsi le paramètre α_a est calculé sur la base de la relation suivante à partir de (3) :

$$si \quad \alpha_a \leq \underset{k = ia, \dots, ja-1}{MINIMUM} \left(\underset{v'_k}{MAXIMUM} \left[\frac{v_a}{v'_k}, \frac{120}{v'_k} \right] \right)$$

alors le véhicule «a» est affecté suivant des vitesses sur les tronçons données par la relation (2). Si la précédente contrainte ne tient pas alors le véhicule «a» est affecté suivant la même vitesse sur chaque tronçon, c'est-à-dire la vitesse moyenne v_a .

Les résultats fournis par le programme se retrouvent dans trois fichiers de sortie. La première série de résultats concerne directement les couples Délai/Débit (premier fichier de sortie). Le programme estime la tranche de temps au plus tôt pour chaque tronçon pour laquelle on a des flots complets sur ce tronçon à partir des vitesses $v'_{k,l}$. Pour chaque tronçon k et chaque tranche de temps l conséquente, le programme fournit :

$60 \cdot d_k / v'_{k,l}$	le délai en min/km pour le sous-ensemble des automobiles d'ordre $E/S \leq M$ (véhicules de classe 1) <i>(dans le cas seulement où $v'_{k,l}$ est obtenue par des observations);</i>
$N_{k,l}$	le nombre d'automobiles ayant servi au calcul direct de $v'_{k,l}$ (ce nombre est plus grand ou égal au paramètre d'entrée) <i>(dans le cas seulement où $v'_{k,l}$ est obtenue par des observations);</i>
$60 \cdot d_k / V_{k,l}$	le délai en min/km pour l'ensemble des automobiles (véhicules de classe 1);
hh:mm:ss	l'heure du début de la tranche de temps l ;
k	le numéro du tronçon considéré;
$F_{k,l,1}$	le nombre d'automobiles sur le tronçon k durant la tranche de temps l (véhicules de classe 1);
$F_{k,l,2}$	le nombre de véhicules de classe 2 sur le tronçon k durant la tranche de temps l ;
.....	
$F_{k,l,C}$	le nombre de véhicules de la dernière classe C sur le tronçon

k durant la tranche de temps l.

Les autres résultats que le programme fournit sont, par tronçon k et par tranche de temps l, la vitesse moyenne et le nombre global de véhicules, soit :

$$V_{k,l} \quad \text{et} \quad \sum_{c=1}^C F_{k,l,c}.$$

En reprenant les résultats sur le nombre global de véhicules du programme de simulation dynamique SIMDYN aux cas de la Métropolitaine directions Est et Ouest pour chacune des deux périodes de pointe, il nous est permis de comparer ces débits avec ceux obtenus et publiés par DESSAU⁵.

En effet, posons le débit global par tronçon k pour la période considérée de L tranches de temps et pour l'ensemble des classes de véhicules :

$$G_k = \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C F_{k,l,c}.$$

De plus, posons E_k le nombre de véhicules entrant au point initial du tronçon k (0 s'il n'y a aucune entrée à ce point) et S_k le nombre de véhicules sortant du point initial du tronçon k (0 s'il n'y a aucune sortie à ce point). À cause de la conservation du débit, on a alors pour chaque point du découpage de la Métropolitaine :

$$G_k = G_{k-1} + E_k - S_k \quad \text{pour tout } k = 2, \dots, n,$$

⁵ DESSAU-LGL. *Étude de l'autoroute Métropolitaine (A40) dans un horizon de planification de 20 ans - Enquêtes et observations - circulation, Annexes B à E, document de travail 104.2, 19 mars 1992, tableaux de l'annexe C.*

ou bien graphiquement :

$$\begin{array}{ccc} & E_k & \\ & \downarrow & \\ G_{k-1} & \xrightarrow{*} & G_k \\ & \downarrow & \\ & S_k & \end{array}$$

En conséquence, la précédente formulation nous permet de comparer pour chaque point de découpage de la Métropolitaine, d'une part :

$G_k - G_{k-1}$ les résultats agrégés du programme SIMDYN qui représentent les variations de flots d'un tronçon à l'autre

et, d'autre part :

$E_k - S_k$ les résultats agrégés par ligne et par colonne de la matrice des véhicules entrées/sorties de DESSAU pour la période de pointe considérée, qui représentent les flots nets accédant ou sortant de la Métropolitaine.

Les figures 3, 4, 5 et 6 nous présentent ces comparaisons. On retrouve sur ces graphiques en abscisse la variation de flots d'un tronçon à l'autre (programme SIMDYN) et en ordonnée le flot net des véhicules entrants/sortants (matrice de DESSAU). On distingue les points du découpage de la Métropolitaine où il n'y a que des entrées, que des sorties et ceux où il y a des entrées et des sorties. En conclusion, les débits globaux obtenus par la simulation dynamique sont proches de ceux déduits à partir des matrices de véhicules de DESSAU pour la Métropolitaine.

Figure 3

Comparaison des variations de flots d'un tronçon à l'autre avec les flots nets aux entrées/sorties de DESSAU
Métropolitaine Est en pointe du matin - 1991

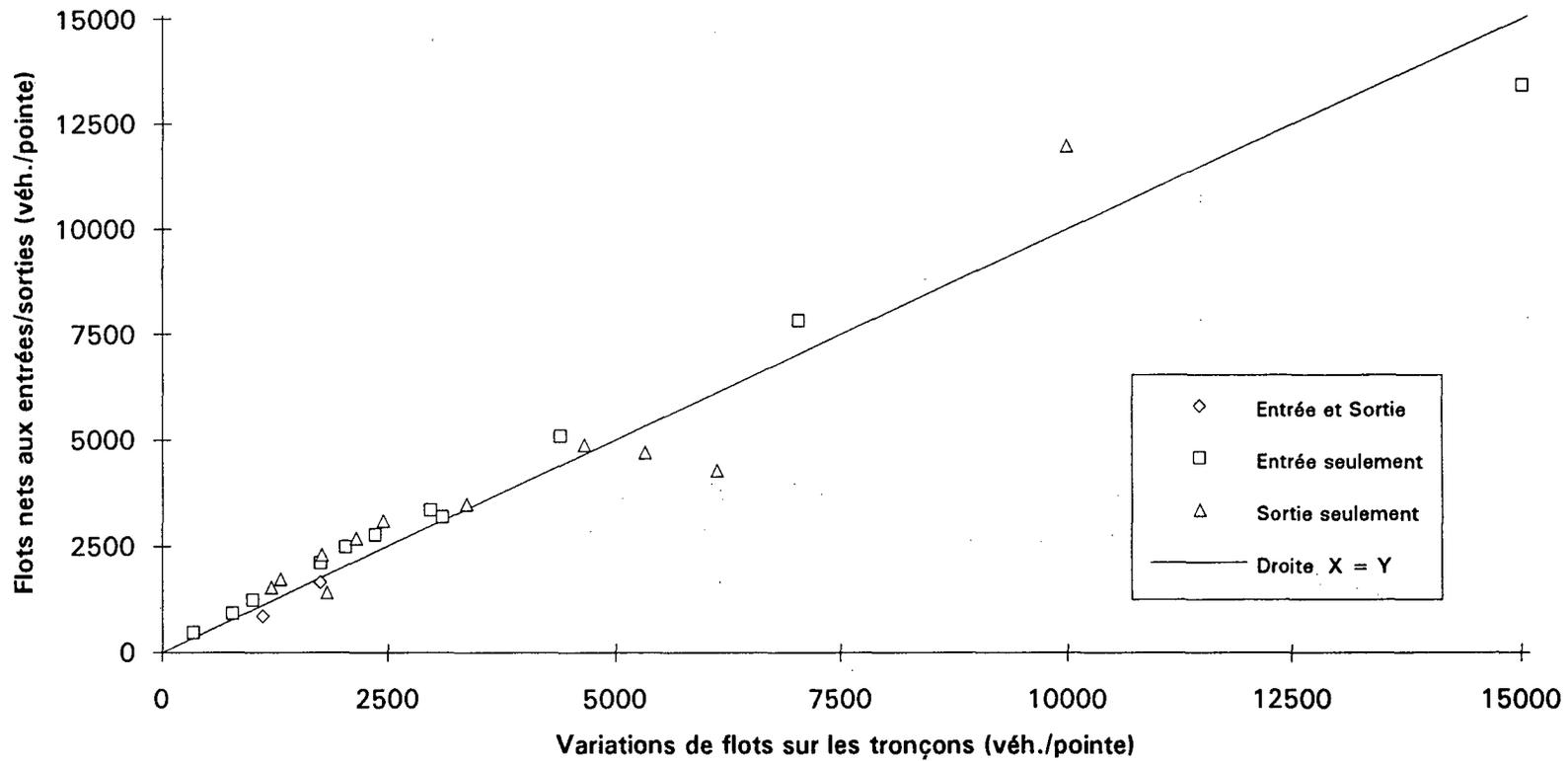


Figure 4

Comparaison des variations de flots d'un tronçon à l'autre avec les flots nets aux entrées/sorties de DESSAU
Métropolitaine Ouest en pointe du matin - 1991

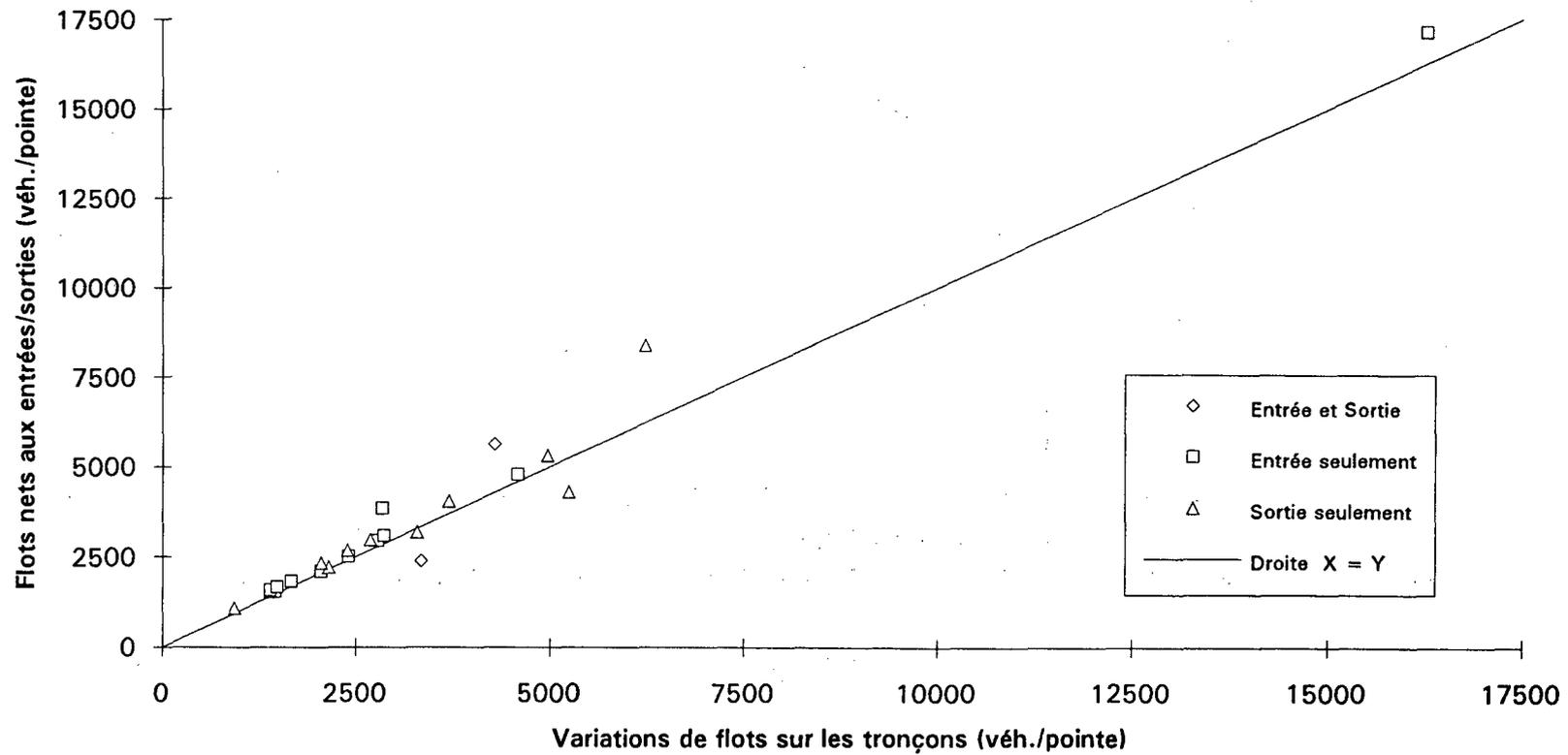


Figure 5

Comparaison des variations de flots d'un tronçon à l'autre avec les flots nets aux entrées/sorties de DESSAU
Métropolitaine Est en pointe du soir - 1991

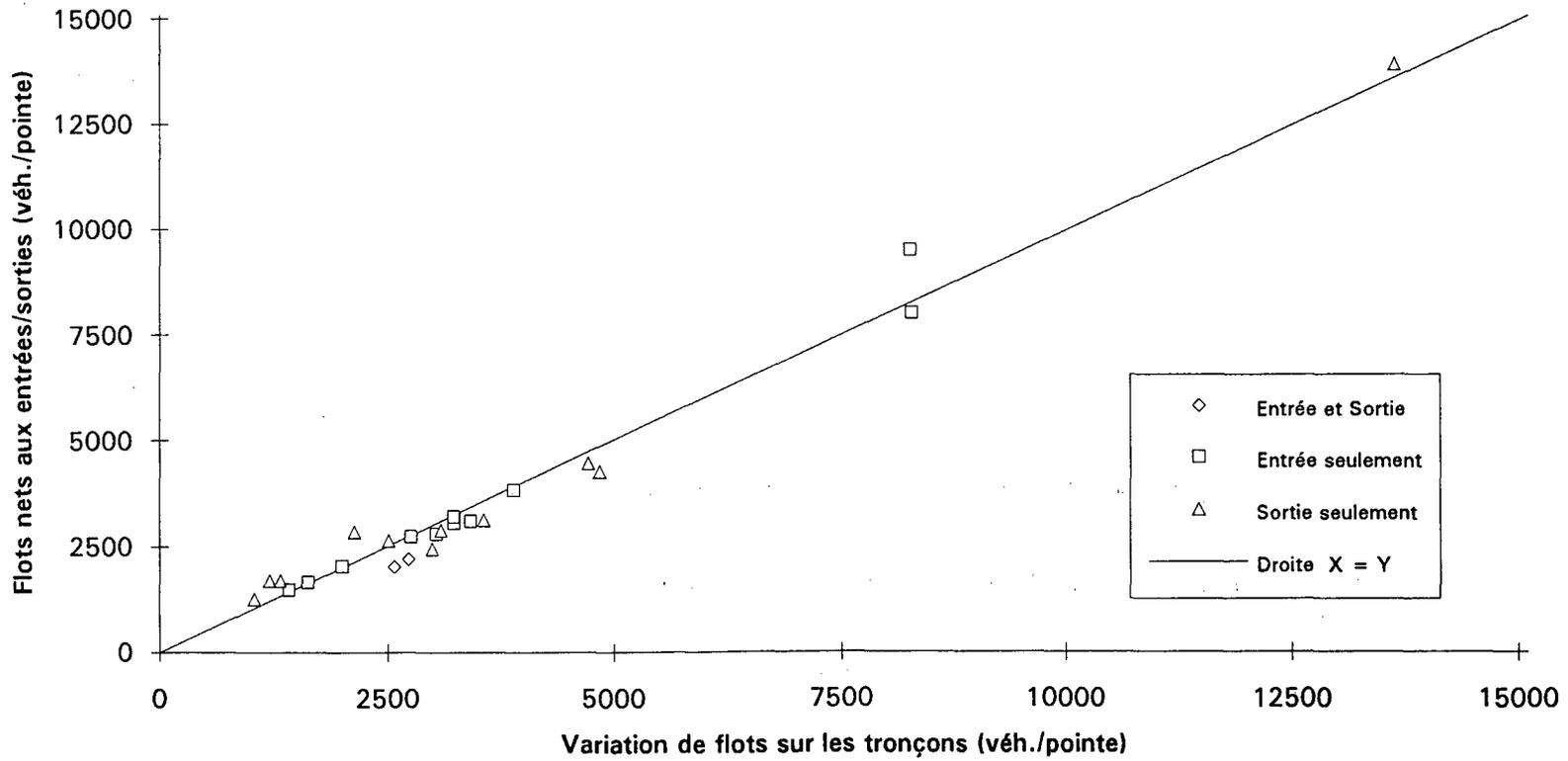
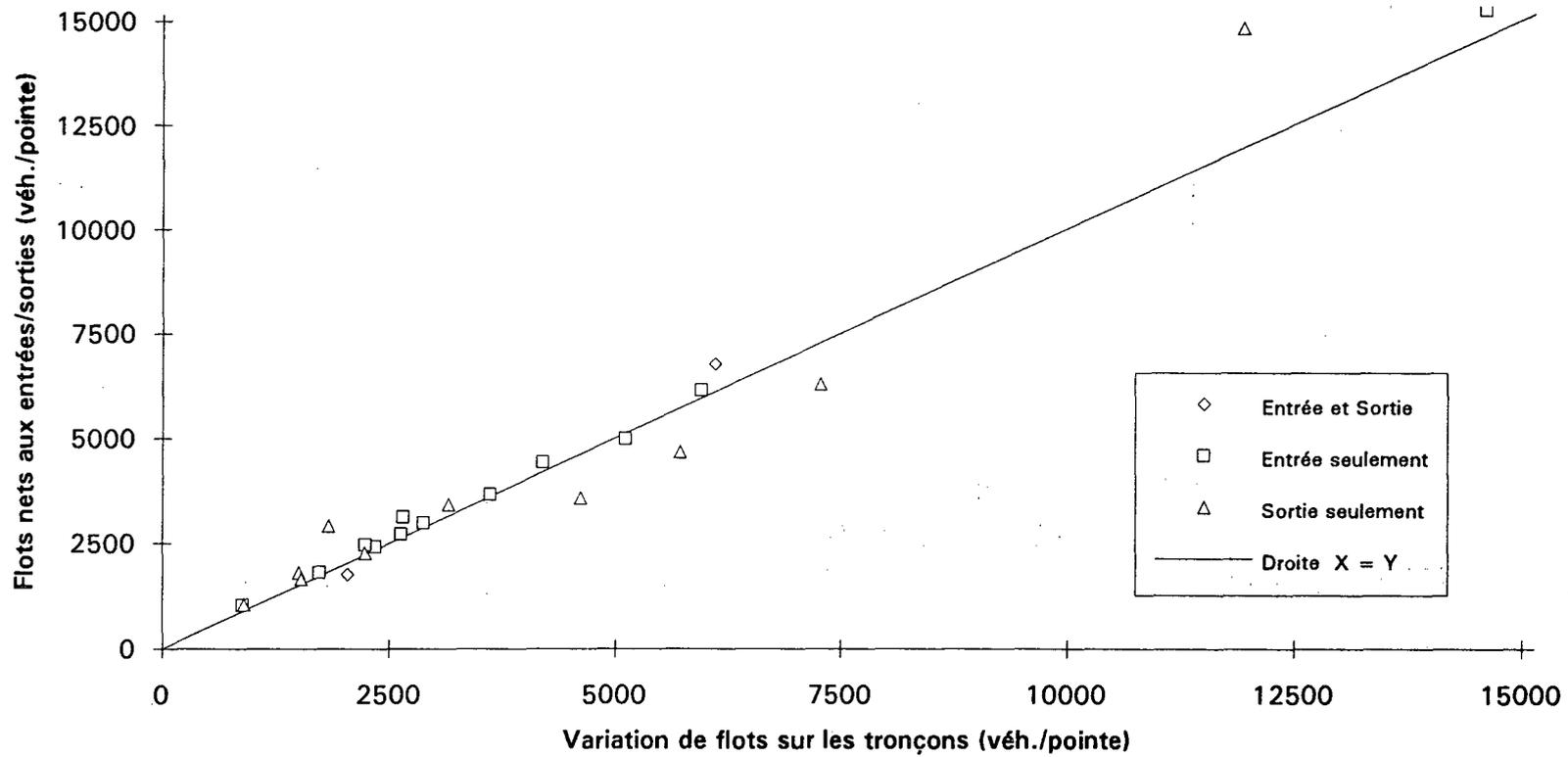


Figure 6

Comparaison des variations de flots d'un tronçon à l'autre avec les flots nets aux entrées/sorties de DESSAU
Métropolitaine Ouest en pointe du soir - 1991



8. ANALYSE DES RÉSULTATS POUR LA RELATION DÉLAI/DÉBIT

8.1 INTÉGRATION DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LA SIMULATION DYNAMIQUE

Des résultats précédents, nous retenons le délai moyen en min/km pour l'ensemble des automobiles passant par un tronçon durant une tranche de temps donnée. Nous voulons calculer le débit horaire en véhicules-équivalents par voie de circulation pour produire le couple Délai/Débit.

Ce dernier débit doit être calculé à partir du débit par classe de véhicules et par tranche de temps, ce qui s'exprime comme :

$$FE_k = \sum_{c=1}^C f_c \cdot F_{k,l,c}$$

Les facteurs d'équivalence f_c découlent des facteurs E_x (Passenger-Car Equivalents) du *Highway Capacity Manual 1985 (HCM) du Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. 1985 (special report 209)*.

En effet, reprenant la notation du HCM, on a le volume global de véhicules comme la somme des volumes des automobiles (A), des camions (T), des véhicules (recreational veh) (R) et des autobus (B), soit :

$$V = V_A + V_T + V_R + V_B$$

Le facteur d'ajustement des véhicules lourds (par rapport à l'automobile) est :

$$f_{HV} = 1 / [1 + P_T(E_T-1) + P_R(E_R-1) + P_B(E_B-1)]$$

où les P sont les proportions des différents types de véhicules c'est-à-dire que

$P_T = V_T / V$, etc. et le ratio de charge est $V / (f_{HV} \cdot C)$ avec la capacité C.

Si nous considérons le volume global en véhicules-équivalents, à savoir :

$$VE = V_A + E_T \cdot V_T + E_R \cdot V_R + E_B \cdot V_B,$$

alors le ratio de charge est simplement VE / C . La démonstration est relativement évidente. Ainsi les facteurs d'équivalence f_c utilisés proviennent de HCM et les débits en véhicules-équivalents FE_k et VE sont équivalents. Les pentes sur la Métropolitaine étant négligeables pour les tronçons étudiés, nous avons considéré les facteurs pour une autoroute en terrain plat. Le tableau 5 donne les facteurs utilisés pour la composition du débit global en véhicules-équivalents.

Tableau 5
Facteur d'équivalence par classe de véhicules

NUMÉRO DE CLASSE DE VÉHICULES	FACTEUR D'ÉQUIVALENCE	DESCRIPTION DES VÉHICULES
1	1,0	Automobile
2	2,0	Camion léger
3	2,0	Camion remorque
4	2,0	Camion lourd
5	1,6	Autobus

Finalement le débit en véhicules-équivalents par tranche de temps doit être converti pour obtenir un débit horaire en véhicules-équivalents par voie, donc par une multiplication d'un facteur 6 (pour des tranches de temps de 10 minutes) et par une division du nombre de voies pour le tronçon considéré. Le tableau 6 présente le nombre de voies par tronçon sur la Métropolitaine, dans chacune des deux directions en 1991, utilisés dans cette étude.

Tableau 6**Nombre de voies pour chaque tronçon de la Métropolitaine**

NUMÉRO DU TRONÇON	NOMBRE DE VOIES SUR LA MÉTROPOLITAINE	
	DIRECTION EST	DIRECTION OUEST
1	1*	3
2	3	3
3	3	3
4	3	3
5	3	3
6	3	3
7	2	3
8	4	3
9	4	3
10	3	3
11	3	3
12	4	3
13	3	4
14	3	3
15	3	4
16	3	3
17	3	3
18	3	3
19	3	3
20	3	3
21	3	3
22	3	3
23	3	3

* Ce tronçon est la rampe d'accès de A13 Nord pour la Métropolitaine Est

L'annexe A présente graphiquement les couples Délai/Débit en périodes de pointe de 1991 pour chaque tronçon de la Métropolitaine Est et pour chaque tronçon de la Métropolitaine Ouest entre les autoroutes A13 et A25. On y retrouve les tronçons en ordre séquentiel de parcours de la Métropolitaine.

Dans les graphiques de l'annexe A, on distingue les couples Délai/Débit en période de pointe du matin de ceux de la période de pointe du soir. Dans le cas de la Métropolitaine Est, le tronçon 1 est associé à la rampe d'accès pour la Métropolitaine Est en provenance de la A13 Nord. La Métropolitaine Est est donc représentée de façon séquentielle par ses tronçons 2 à 23. De même, la Métropolitaine Ouest est représentée par ses tronçons 1 à 22. Par manipulations à partir des tronçons 23 et 22, nous avons déduit des couples Délai/Débit associés à la rampe d'accès pour la Métropolitaine Ouest en provenance de la A13 Sud.

8.2 CADRE D'ANALYSE DE LA RELATION DÉLAI/DÉBIT

L'analyse de la relation Délai/Débit pour les tronçons de la Métropolitaine implique la mise en place d'un cadre de modélisation. Suivant l'ensemble des couples Délai/Débit obtenus pour un tronçon et dans le cas d'une congestion du trafic sur le tronçon, nous inférons deux relations fonctionnelles décrivant la courbe enveloppant cet ensemble de points (couples Délai/Débit). Une première fonction estimée porte sur la partie inférieure de l'enveloppe alors que la deuxième fonction en concerne la partie supérieure. Pour les prochains paragraphes, le mot volume est utilisé de manière équivalente au mot débit.

Soit F la fonction estimant la partie inférieure de l'enveloppe et F' la fonction estimant sa partie supérieure. Posons également D_0 le délai minimal correspondant au délai d'un véhicule en circulation libre, D_{max} le délai maximal lorsqu'il y a hyper-congestion (C.-À.-D. lorsque Volume entrant/Capacité est beaucoup plus grand que un), V_{max} le volume maximal (C.-À.-D. lorsque Volume passant = Capacité) et $D(V_{max})$ le délai correspondant au volume maximal. Soit F et F' , des fonctions du volume V et dont les paramètres sont respectivement D_0 , V_{max} , $D(V_{max})$ et D_{max} , V_{max} , $D(V_{max})$. Les caractéristiques des fonctions $F(V, D_0)$ et $F'(V, D_{max})$ recherchées (les caractéristiques V_{max} et $D(V_{max})$ étant

identiques pour les deux fonctions) doivent respectées :

$$\begin{aligned}
 F(0, D_0) &= D_0, \\
 F(V_{\max}, D_0) &= D(V_{\max}), \\
 dF(V, D_0)/dV &\geq 0 \quad \text{pour } 0 \leq V \leq V_{\max}, \\
 dF(0, D_0)/dV &= 0, \\
 dF(V_{\max}, D_0)/dV &= \infty \quad (\text{infini})
 \end{aligned} \tag{7}$$

et

$$\begin{aligned}
 F'(0, D_{\max}) &= D_{\max}, \\
 F'(V_{\max}, D_{\max}) &= D(V_{\max}), \\
 dF'(V, D_{\max})/dV &\leq 0 \quad \text{pour } 0 \leq V \leq V_{\max}, \\
 dF'(0, D_{\max})/dV &= 0, \\
 dF'(V_{\max}, D_{\max})/dV &= -\infty.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Si on pose une fonction $F(V, D)$ qui satisfait les conditions (7) pour $D < D(V_{\max})$ alors pour :

$$F'(V, D) = D - F(V, 0) \cdot (D - D(V_{\max})) / D(V_{\max}), \tag{9}$$

les conditions de (8) sont également satisfaites avec $D > D(V_{\max})$. Les fonctions F et F' qui satisfont respectivement les conditions (7) et (8) impliquent que $F \leq F' \leq D_{\max}$.

La famille de fonctions $F_n(V, D_0)$ où

$$(V - V_0)^n/a + (F_n(V, D_0) - D_0)^n/b = 1$$

nous permet de respecter les conditions en (7) si on pose :

$$D = D_0,$$

$$V_{\max} = V_0,$$

$$a = V_{\max}^n,$$

$$b = (D - D(V_{\max}))^n.$$

On obtient alors :

$$F_n(V,D) = D(V_{\max}) - (D(V_{\max}) - D) \cdot [1 - (V/V_{\max})^n]^{1/n} \quad (10)$$

où $D < D(V_{\max})$.

Par (9) nous obtenons également

$$F'_n(V,D) = D(V_{\max}) + (D - D(V_{\max})) \cdot [1 - (V/V_{\max})^n]^{1/n} \quad (11)$$

où $D > D(V_{\max})$.

Par ailleurs, si on remplace D par D_0 dans $F_n(V,D)$ et par D_{\max} dans $F'_n(V,D)$ alors (10)

et (11) deviennent :

$$F_n(V,D_0) = D(V_{\max}) - (D(V_{\max}) - D_0) \cdot [1 - (V/V_{\max})^n]^{1/n} \quad (12)$$

et

$$F'_n(V,D_{\max}) = D(V_{\max}) + (D_{\max} - D(V_{\max})) \cdot [1 - (V/V_{\max})^n]^{1/n}. \quad (13)$$

Les fonctions obtenues en (12) et (13) satisfont les conditions (7) et (8).

Nous introduisons maintenant la notion du Délai moyen d'attente (DMA) (en min/km) qui n'est autre que l'expression du temps moyen d'attente par kilomètre lorsqu'on se trouve en hyper-congestion avec file d'attente. Nous avons montré déjà (note technique reproduite à l'annexe C) que le DMA est invariant par rapport à la distribution dans le temps des débits entrant sur un lien routier. En fait, on a la relation suivante :

$$DMA = 60 / (LV \cdot Cp)$$

où LV (en km) est la distance intervéhicule dans une file d'attente et Cp est la capacité horaire du lien routier. Nous postulons alors la relation suivante :

$$D_{\max} = D(V_{\max}) + DMA.$$

De plus, si on pose que $C_p = V_{max}$ alors nous arrivons à la formulation :

$$D_{max} = D(V_{max}) + 60 / (LV \cdot V_{max}). \quad (14)$$

Ainsi, (12), (13) et (14) impliquent que les familles de fonctions $F(V)$ et $F'(V)$ ont respectivement les paramètres n , D_0 , $D(V_{max})$, V_{max} et n' , LV , $D(V_{max})$, V_{max} .

Nous fixons les paramètres suivants (pour le cas de la Métropolitaine) :

$$D_0 = 0,6 \text{ min/km} \quad (\text{C.-\AA.-D. } 100 \text{ km/h});$$

$$LV = 0,008 \text{ km} \quad (\text{C.-\AA.-D. } 8 \text{ mètres entre 2 véhicules en file d'attente}).$$

C'est à la prochaine section que nous évaluerons ces paramètres pour les tronçons de la Métropolitaine. Nous estimerons le paramètre V_{max} dans un intervalle dont la borne inférieure est le volume maximal de l'ensemble des points (Débit, Délai), excluant certaines excentricités pour un tronçon donné, et dont nous fixons la borne supérieure à 2 300 véhicules/heure-voie. Dans l'estimation du paramètre V_{max} nous tenons compte de la localisation spatiale et de la topologie du tronçon donné par rapport à ses voisins (de même direction) et à leurs V_{max} estimés. Également, nous estimerons le paramètre $D(V_{max})$ suivant la répartition des points au voisinage de V_{max} estimé. Les paramètres n et n' permettent d'ajuster la courbure des enveloppes inférieure et supérieure en fonction de la répartition des points (Débit, Délai). Suivant les précédentes considérations et sous la condition qu'il y ait des points (Débit, Délai) qui reflètent des observations d'hypercongestion sur un tronçon donné, les enveloppes estimées se collent aux points extrémaux. Dans le cas des tronçons où il y a peu de congestion observée (C.-\AA.-D. que l'ensemble des points est confiné graphiquement dans un couloir relativement étroit), l'enveloppe supérieure n'a plus à suivre les points extrémaux supérieurs. Par contre, cette enveloppe aura une courbure qui s'apparentera à celle des points extrémaux supérieurs situés dans la région du V_{max} .

8.3 ANALYSE DE LA RELATION DÉLAI/DÉBIT

Les quatre prochains graphiques (les figures 7, 8, 9 et 10) présentent les couples Délai moyen/Débit équivalent pour l'ensemble des tronçons de la Métropolitaine situés entre l'autoroute 13 et l'autoroute 25, sur la base de tranches de temps de 10 minutes, suivant la période de pointe de la journée et la direction sur la Métropolitaine.

Nous constatons, pour le débit exprimé en véhicules-équivalents/heure-voie, quelques couples excentriques où le débit dépasse les 2 200 à 2 300 véh./h-voie. Rappelons que l'obtention des débits horaires provient d'une expansion des débits par tranche de 10 minutes, ce qui peut occasionner des débits horaires par voie relativement élevés par rapport à la capacité nominale. La probabilité qu'un état instable se maintienne en équilibre dans l'écoulement maximal du flot des véhicules est beaucoup plus grande sur une période de 10 minutes que sur une période d'une heure. Ces débits excentriques ne sont pas d'ailleurs dus à la nature du modèle de simulation utilisé puisque nous constatons de tels débits dans les données de base de la Métropolitaine. Ainsi, pour le cas de la pointe du matin en direction Est, l'examen du nombre de véhicules passant par les trois voies de la Métropolitaine, au niveau de l'autoroute 13 ou accédant à la Métropolitaine en provenance de l'autoroute 13, ramené en véh./h-voie sur la base de tranches de 10 minutes, est illustré par la figure 11. On constate sur ce graphique que certains débits «instantanés» avoisinent les 2 500 véh./h-voie.

Dans le cas de la pointe du matin, il semble qu'il y ait un peu plus de congestion dans la direction Est que dans la direction Ouest sur l'ensemble de la Métropolitaine. Par contre, il y a un plus grand nombre de tronçons en direction Ouest qui supportent de gros débits de l'ordre de 2 000 véh.-équiv./h-voie que dans la direction Est.

Finalement, on note que la période du soir pour la Métropolitaine en direction Ouest n'est

Figure 7

Couples Délai/Débit par tranche de 10 minutes pour la Métropolitaine Est
en période de pointe du matin - 1991

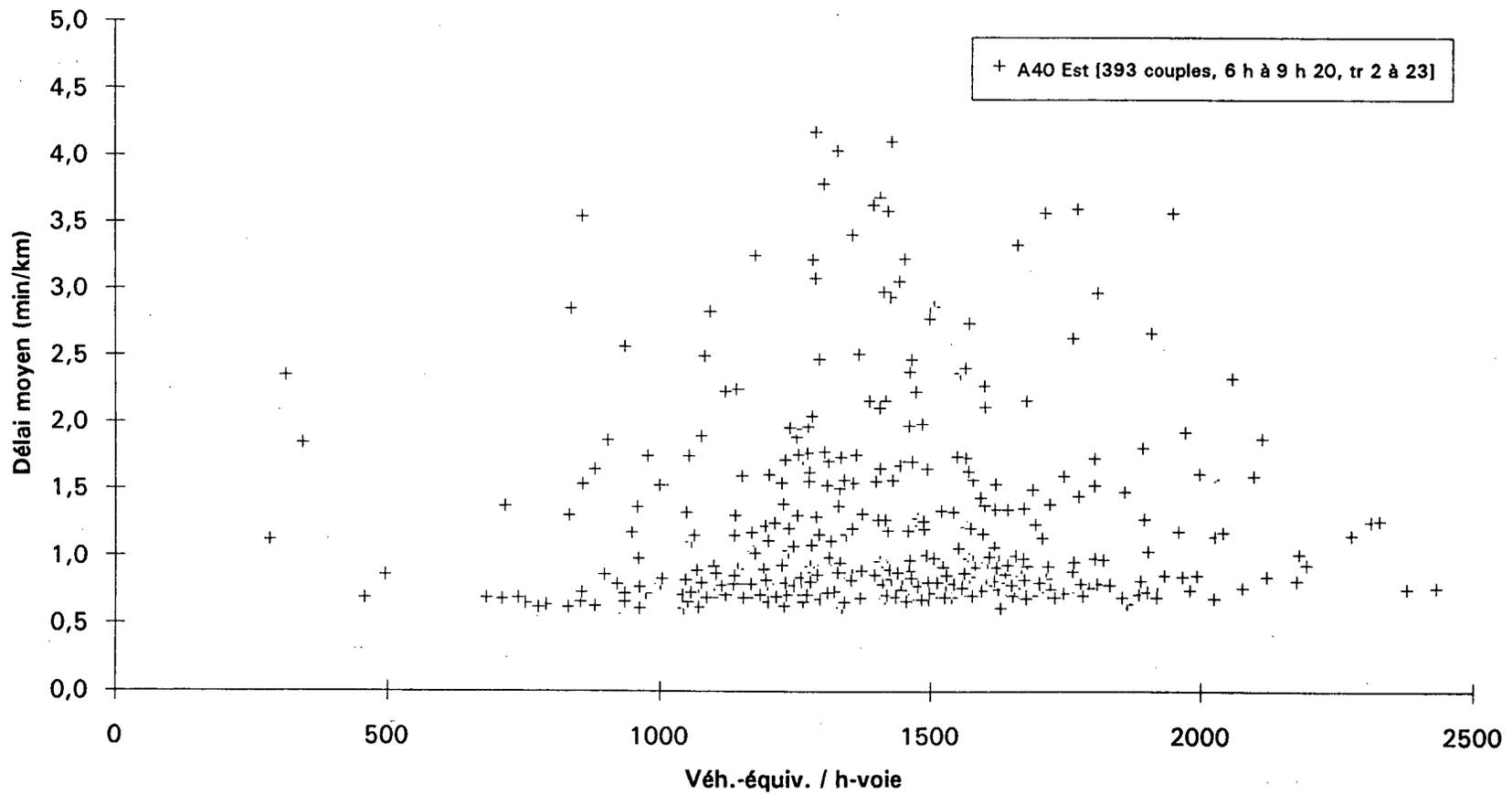


Figure 8

Couples Délai/Débit par tranche de 10 minutes pour la Métropolitaine Ouest en période de pointe du matin - 1991

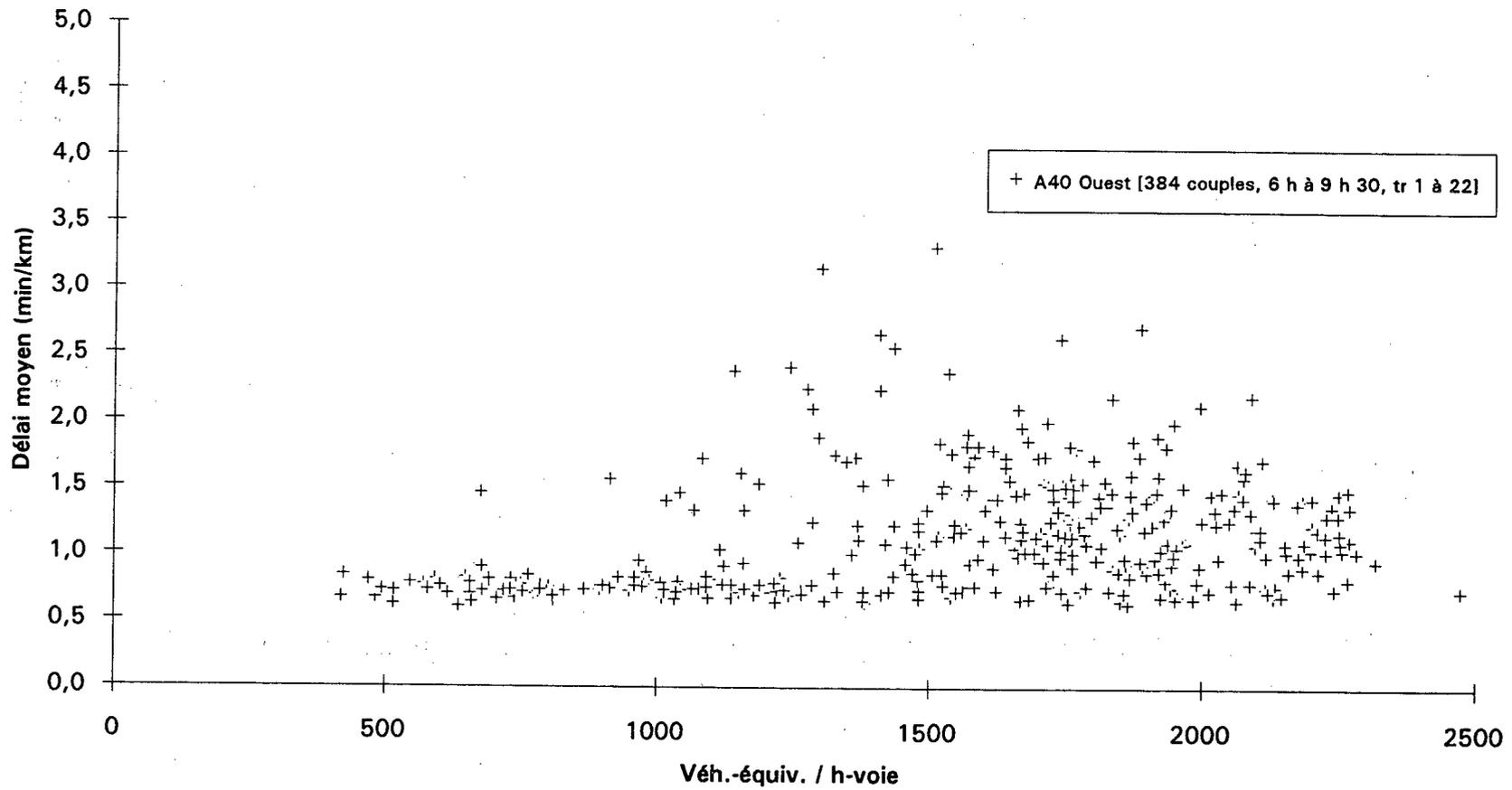


Figure 9

Couples Délai/Débit par tranche de 10 minutes pour la Métropolitaine Est en période de pointe du soir - 1991

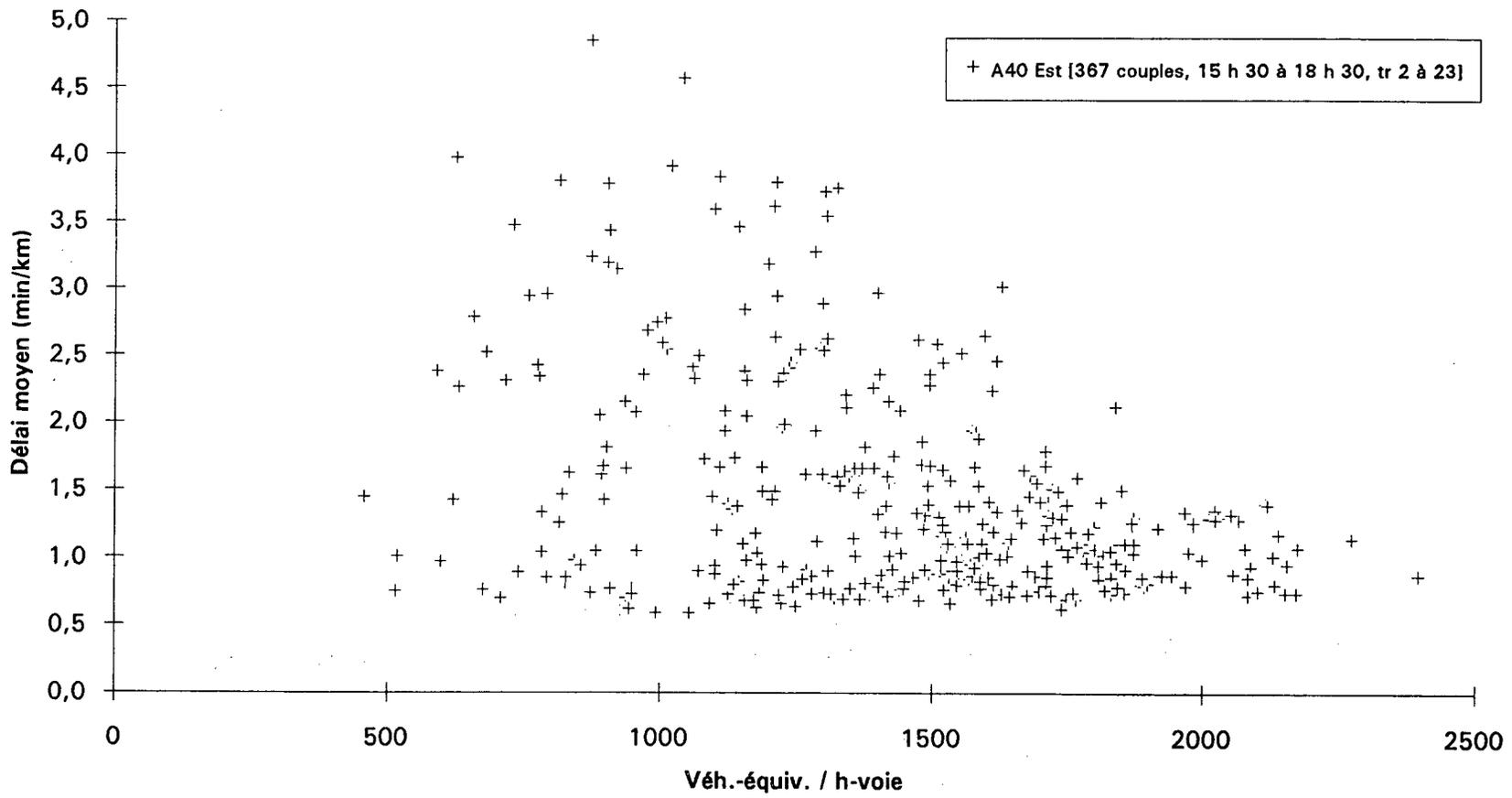


Figure 10

**Couples Délai/Débit par tranche de 10 minutes pour la Métropolitaine Ouest
en période de pointe du soir - 1991**

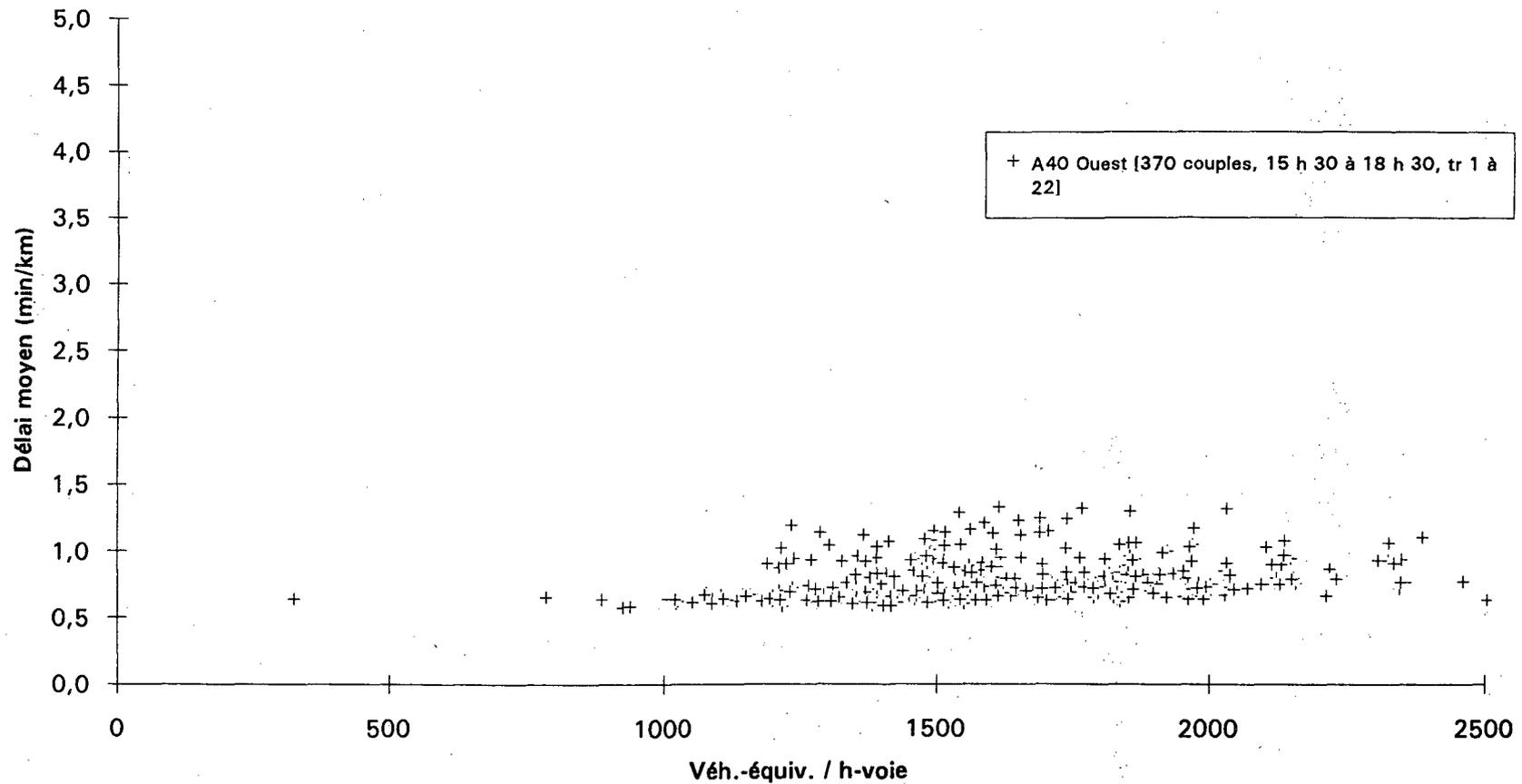
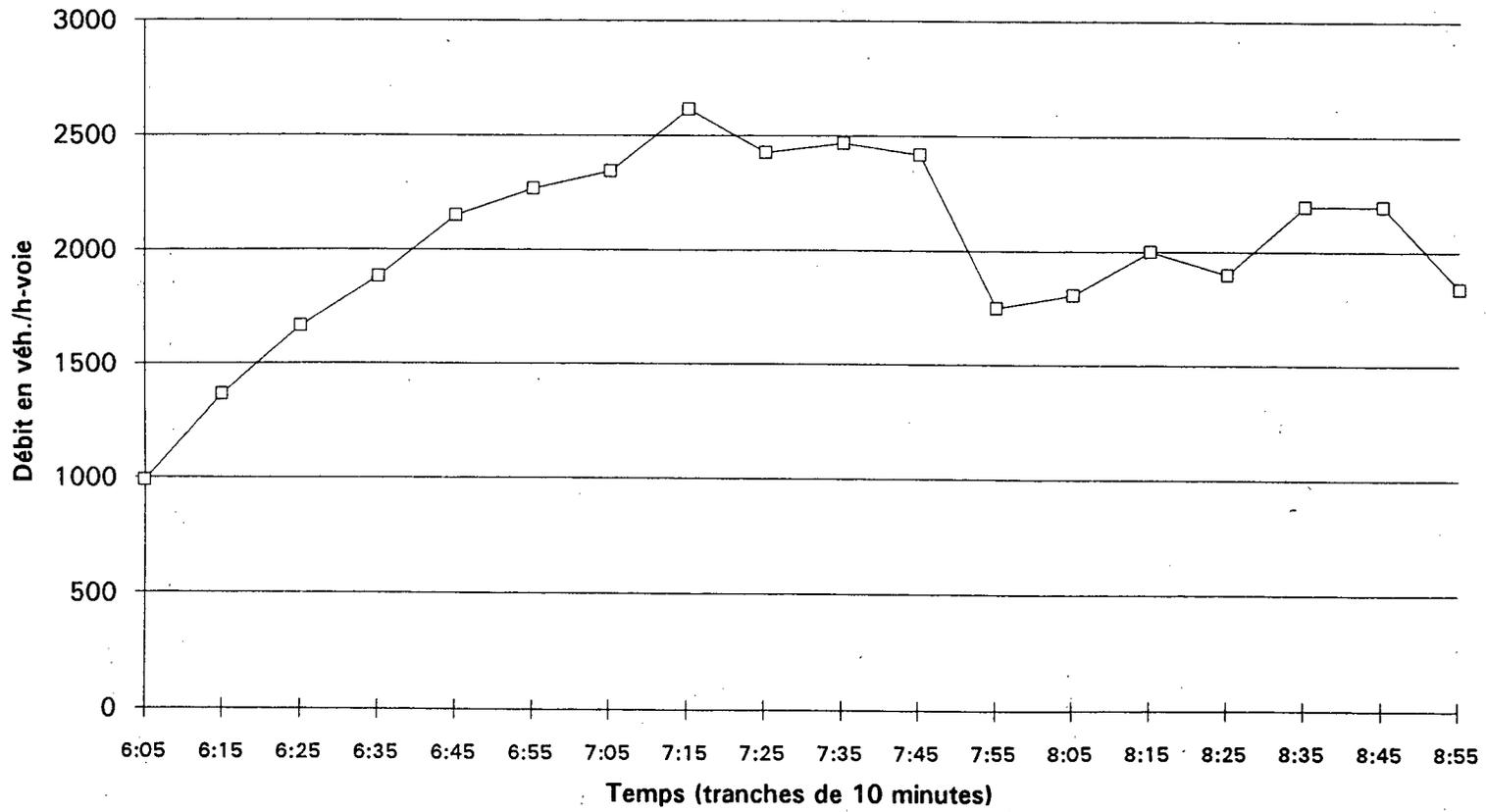


Figure 11

Évolution des débits instantanés en période de pointe du matin
sur la Métropolitaine Est au niveau de l'autoroute 13



pas le moment d'une grande congestion pour la journée qui a fait l'objet de l'enquête. Cette situation est également observée dans les documents de DESSAU qui a analysé l'enquête effectuée sur la Métropolitaine. Ainsi, dans un des documents⁶ produits par le consortium DESSAU-LGL, on retrouve des temps de parcours relativement courts, entre la A25 et la A13 sur la Métropolitaine Ouest, pour la période de pointe du soir (journée du 5 juin 1991) se situant aux alentours de 14 à 16 minutes (pour une distance approximative de 20 km), alors que sur la Métropolitaine Est, on remarque des temps de parcours de l'ordre de 25 à 27 minutes au plus fort de la congestion pour cette même période de pointe (journée du 4 juin 1991).

Nous avons analysé chacun des tronçons de la Métropolitaine Est ainsi que chacun des tronçons de la Métropolitaine Ouest selon les couples Délai/Débit (les périodes de pointe du matin et du soir étant confondues), à l'intérieur du cadre d'analyse de la relation Délai/Débit énoncé à la section précédente. L'annexe B présente les résultats graphiques de l'estimation des enveloppes inférieure et supérieure (F et F') ainsi que les paramètres estimés pour chaque tronçon.

Les graphiques de l'annexe B sont présentés par direction, selon un ordre décroissant des délais maximaux observés, ce qui s'apparente théoriquement à un ordre décroissant de congestion. Sur ces graphiques, on retrouve également la liste des paramètres, leurs valeurs estimées et les valeurs observées à partir des couples Délai/Débit qui sont entre parenthèses.

⁶ DESSAU-LGL. *Étude de l'autoroute Métropolitaine (A40) dans un horizon de planification de 20 ans - Enquêtes et observations - circulation, Annexes B à E, document de travail 104.2, 19 mars 1992, graphiques de l'annexe E.*

Ces paramètres sont dans l'ordre :

- Dmax** la valeur de ce paramètre est obtenue par la relation (14); la valeur observée est le délai le plus élevé parmi les couples Délai/Débit du tronçon;
- Vmax** la valeur de ce paramètre est estimée; la valeur observée est le débit le plus élevé parmi les couples Délai/Débit du tronçon;
- D(Vmax)** la valeur de ce paramètre est estimée; la valeur observée est le délai du couple Délai/Débit qui a le débit le plus élevé parmi les couples du tronçon;
- Dmin** la valeur de ce paramètre est fixée à 0,6 min/km (D_0); la valeur observée est le délai le moins élevé parmi les couples Délai/Débit du tronçon;
- Nu** la valeur de ce paramètre est estimée et représente la puissance n' de l'enveloppe supérieure (pour F');
- Nd** la valeur de ce paramètre est estimée et représente la puissance n de l'enveloppe inférieure (pour F).

Les tableaux 7 et 8 présentent les tronçons respectivement de la Métropolitaine Est et de la Métropolitaine Ouest suivant leur ordre séquentiel sur le terrain ainsi que les valeurs des quatre paramètres estimés : Nd, Nu, D(Vmax) et Vmax. On y retrouve également la valeur du délai maximum observé Dmax qui est un indice de la congestion sur le tronçon. Dans ces tableaux sont présentés les regroupements de tronçons effectués sur la base de la similitude des valeurs de leurs paramètres estimés. Les flèches au niveau des paramètres estimés indiquent les changements dans leurs valeurs d'un groupe de tronçons à l'autre qui ont servi à l'établissement de ces groupes. Ainsi, nous constatons que la Métropolitaine,

Tableau 7

Regroupement des tronçons suivant l'analyse des paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour la Métropolitaine en direction Est

Numéro de groupe	Numéro de tronçon	Nd	Nu	D(Vmax)	Vmax	Dmax
1	2	3,50	1,50	1,25	2300	1,81
1	3	3,50	1,20	1,00	2100	2,24
1	4	4,00	1,40	1,00	2200	3,19
2	5	4,00	↓ 1,40	↓ 1,75	2000	3,98
3	6	3,50	↓ 2,50	↓ 2,00	2150	4,70
4	7	3,50	↓ 1,30	↓ 1,25	↓ 1800	3,60
4	8	4,00	↓ 1,50	1,25	↓ 1650	3,84
5	9	3,50	↓ 1,60	1,25	↓ 1850	3,73
5	10	↓ 4,00	1,80	↓ 1,00	↓ 1950	3,55
6	11	↓ 2,50	1,75	↓ 1,50	↓ 1750	4,86
6	12	2,20	1,60	2,00	1600	4,17
6	13	↓ 3,50	↓ 1,30	1,25	↓ 1550	3,48
7	14	↓ 4,00	↓ 1,30	1,25	↓ 1900	2,75
7	15	4,00	1,50	1,50	2100	1,59
7	16	4,00	1,50	1,25	2000	1,38
7	17	3,00	1,50	↓ 1,25	2000	1,19
1	18	4,00	1,50	↓ 1,00	2200	1,70
1	19	4,00	1,50	1,00	2200	0,92
1	20	3,00	1,50	1,00	2200	1,10
1	21	3,50	1,50	1,00	2100	1,72
1	22	3,50	1,50	1,00	2000	1,94
1	23	4,00	1,50	1,00	2100	2,22

Tableau 8

Regroupement des tronçons suivant l'analyse des paramètres estimés de la relation Délai/débit pour la Métropolitaine en direction Ouest

Numéro de groupe	Numéro de tronçon	Nd	Nu	D(Vmax)	Vmax	Dmax
1	1	3,50	1,50	1,00	2300	1,33
1	2	4,00	1,50	1,00	2250	1,18
1	3	5,00	1,50	1,00	2200	1,20
8	4	4,00	1,50	↓ 1,25	2200	1,56
8	5	4,00	1,50	1,00	2100	3,16
8	6	4,50	2,00	1,25	2200	3,32
8	7	3,00	1,50	1,00	2150	2,41
8	8	3,50	1,50	1,00	2300	1,96
8	9	4,00	1,70	1,00	2300	1,99
8	10	4,50	1,50	1,25	2000	1,46
8	11	↓ 4,00	1,50	↓ 1,25	↓ 2250	1,42
2	12	↓ 4,00	1,50	↓ 1,50	↓ 1950	1,45
2	13	2,50	1,50	1,75	1950	2,00
2	14	2,50	1,50	1,50	1900	1,84
2	15	↓ 2,50	1,50	↓ 1,25	↓ 1950	1,73
8	16	↓ ↓ 3,50	1,50	↓ ↓ 1,25	↓ ↓ 2250	1,74
5	17	↓ ↓ 3,00	1,50	↓ 1,00	↓ ↓ 1800	1,82
1	18	↓ 4,00	1,50	1,00	↓ 2200	0,83
1	19	4,00	1,50	1,00	2200	0,77
1	20	4,00	1,50	1,00	2200	0,82
1	21	4,00	1,50	1,00	2300	0,84
1	22	4,00	1,50	1,00	2200	0,84

entre les autoroutes A13 et A25, selon le comportement Délai/Débit, pourrait se découper en huit classes distinctes de segments.

La figure 12 localise ces huit groupes de segments de la Métropolitaine qui se distinguent par leur comportement Délai/Débit. En tenant compte du tableau 9, qui présente pour chaque groupe de tronçons les paramètres estimés moyens ainsi que le délai maximum observé moyen sur l'ensemble des tronçons du groupe, on note que le paramètre V_{max} est inversement proportionnel au niveau de congestion (C.-À.-D. le délai maximum observé) associé au groupe. Les quatre groupes les plus congestionnés sur la base du délai maximum observé, c'est-à-dire les groupes 3, 4, 5 et 6, sont localisés en grande partie sur la Métropolitaine (directions Est et Ouest), entre l'autoroute Décarie et l'autoroute des Laurentides, où les tronçons de ces groupes sont tous en congestion en période de pointe. Par ailleurs, les groupes 2 et 8 présentent certains tronçons congestionnés (voir les tableaux 7 et 8). Ces quelques tronçons congestionnés se retrouvent sur la Métropolitaine Est à l'ouest de l'échangeur Décarie et sur la Métropolitaine Ouest entre les boulevards Lacordaire et Pie-IX.

En associant la valeur estimée du paramètre V_{max} à la capacité nominale horaire par voie, on constate que celle-ci varie entre 1 650 et 2 200 véh./h/voie suivant le segment considéré sur la Métropolitaine.

Tableau 9

Paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour chaque groupe
de tronçons de la Métropolitaine A40

Numéro du groupe	Nombre de tronçons	ESTIMATION DES PARAMÈTRES POUR LE GROUPE				MOYENNES SUR LES TRONÇONS DU GROUPE				
		Nd	Nu	D(Vmax)	Vmax	Nd	Nu	D(Vmax)	Vmax	Dmax
1	17	4,00	1,50	1,00	2200	3,85	1,48	1,01	2191	1,45
2	5	3,00	1,50	1,55	1950	3,10	1,48	1,55	1950	2,20
3	1	3,50	2,50	2,00	2150	3,50	2,50	2,00	2150	4,70
4	2	3,75	1,40	1,25	1725	3,75	1,40	1,25	1725	3,72
5	3	3,50	1,65	1,10	1875	3,50	1,63	1,08	1867	3,03
6	3	2,75	1,55	1,60	1650	2,73	1,55	1,58	1633	4,17
7	4	3,75	1,45	1,30	2000	3,75	1,45	1,31	2000	1,73
8	9	4,00	1,60	1,15	2200	3,89	1,58	1,14	2194	2,11

Les figures 13 à 20 reprennent l'ensemble des couples Délai/Débit pour les tronçons d'un groupe donné et illustrent l'enveloppe résultante à partir des paramètres estimés moyens du groupe. Les paramètres estimés pour chaque groupe de tronçons se conforment adéquatement selon les enveloppes par rapport aux points Délai/Débit des tronçons de ces groupes.



Ministère des Transports

Service de la modélisation
et des bases de données

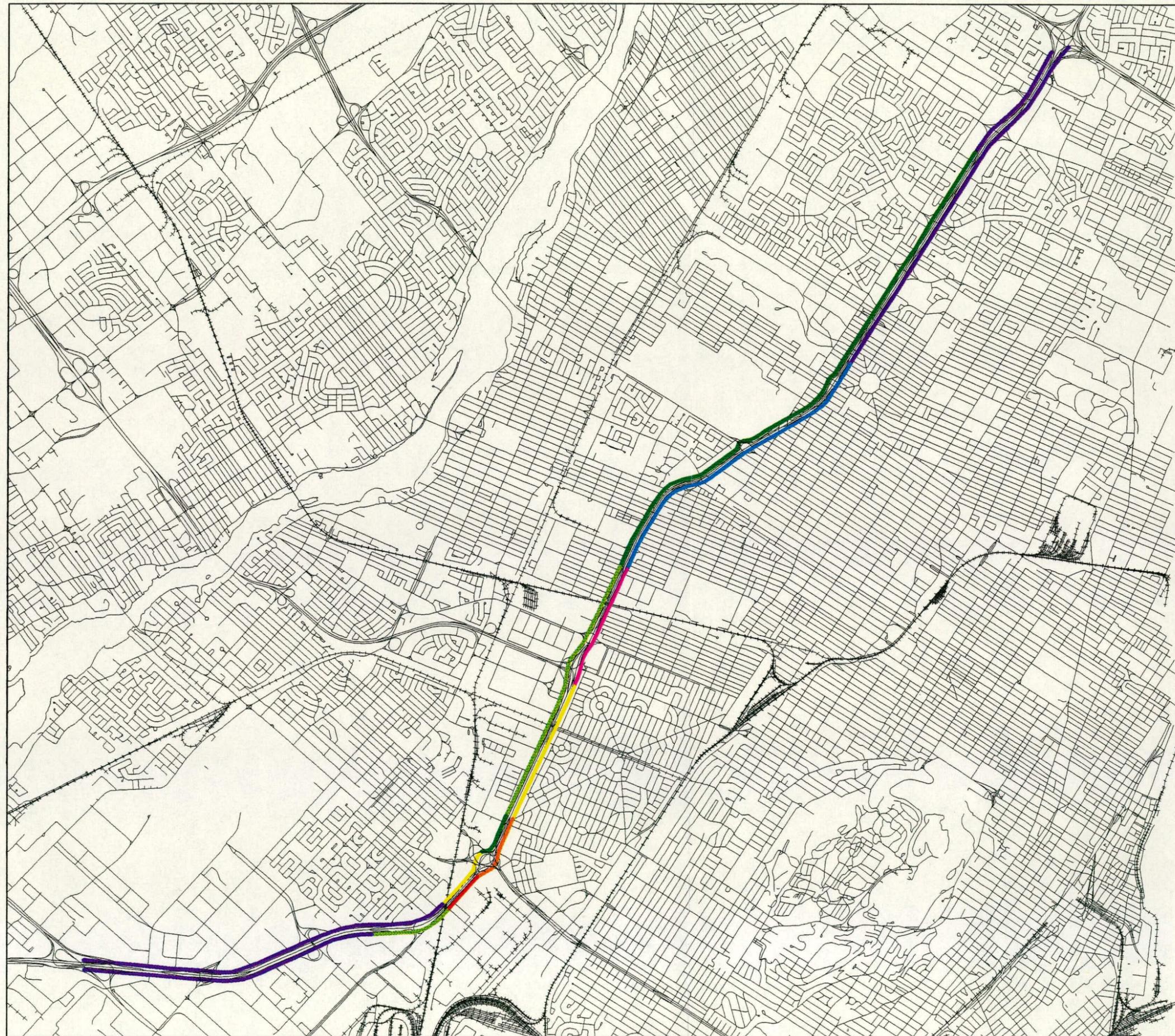


Figure 12

Localisation des
catégories de tronçons
de la Métropolitaine
pour la relation Délai/Débit

LÉGENDE

Numéro de
catégorie

- | | |
|---|---|
|  | 1 |
|  | 2 |
|  | 3 |
|  | 4 |
|  | 5 |
|  | 6 |
|  | 7 |
|  | 8 |

Figure 13

Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 1 des tronçons de la Métropolitaine

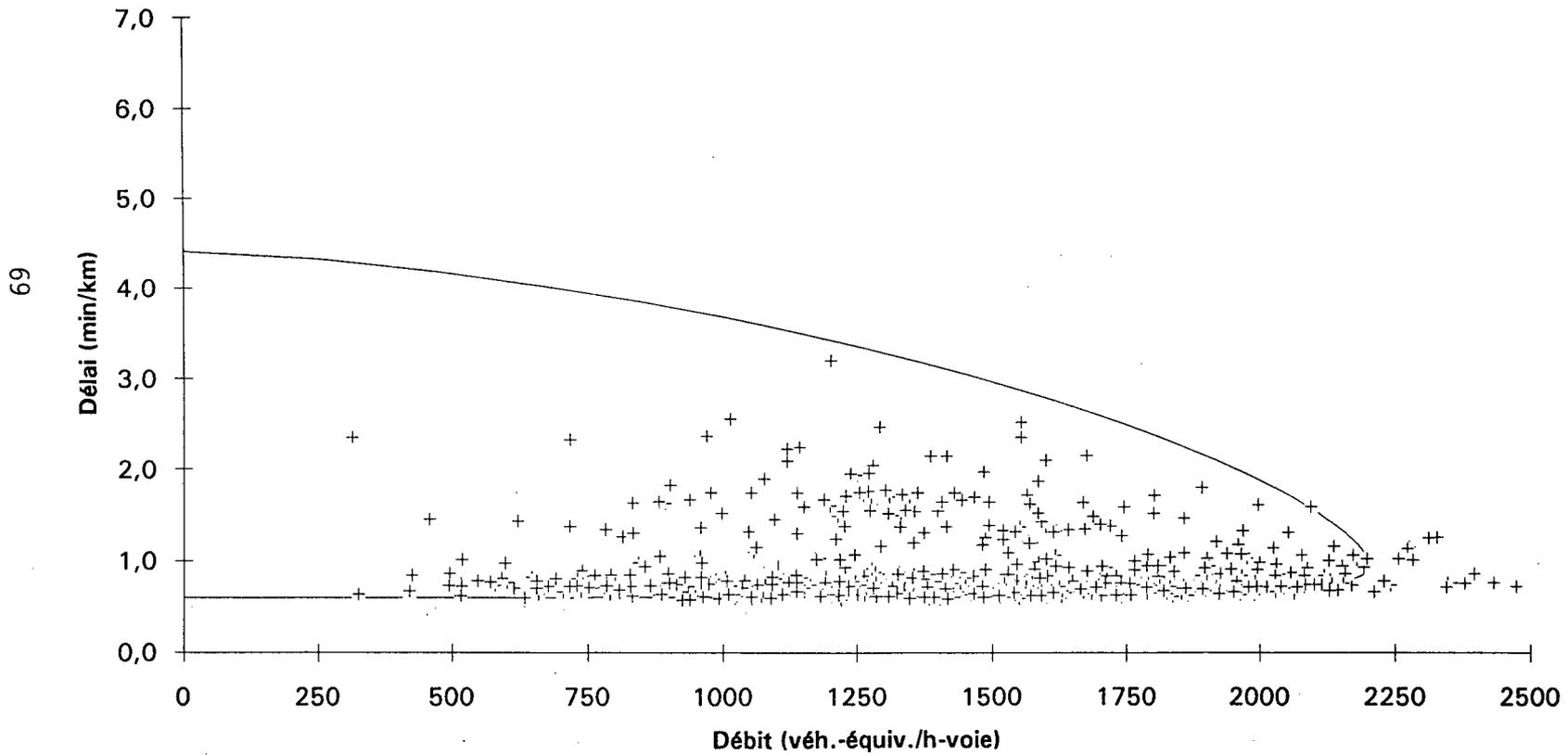


Figure 14

Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 2 des tronçons de la Métropolitaine

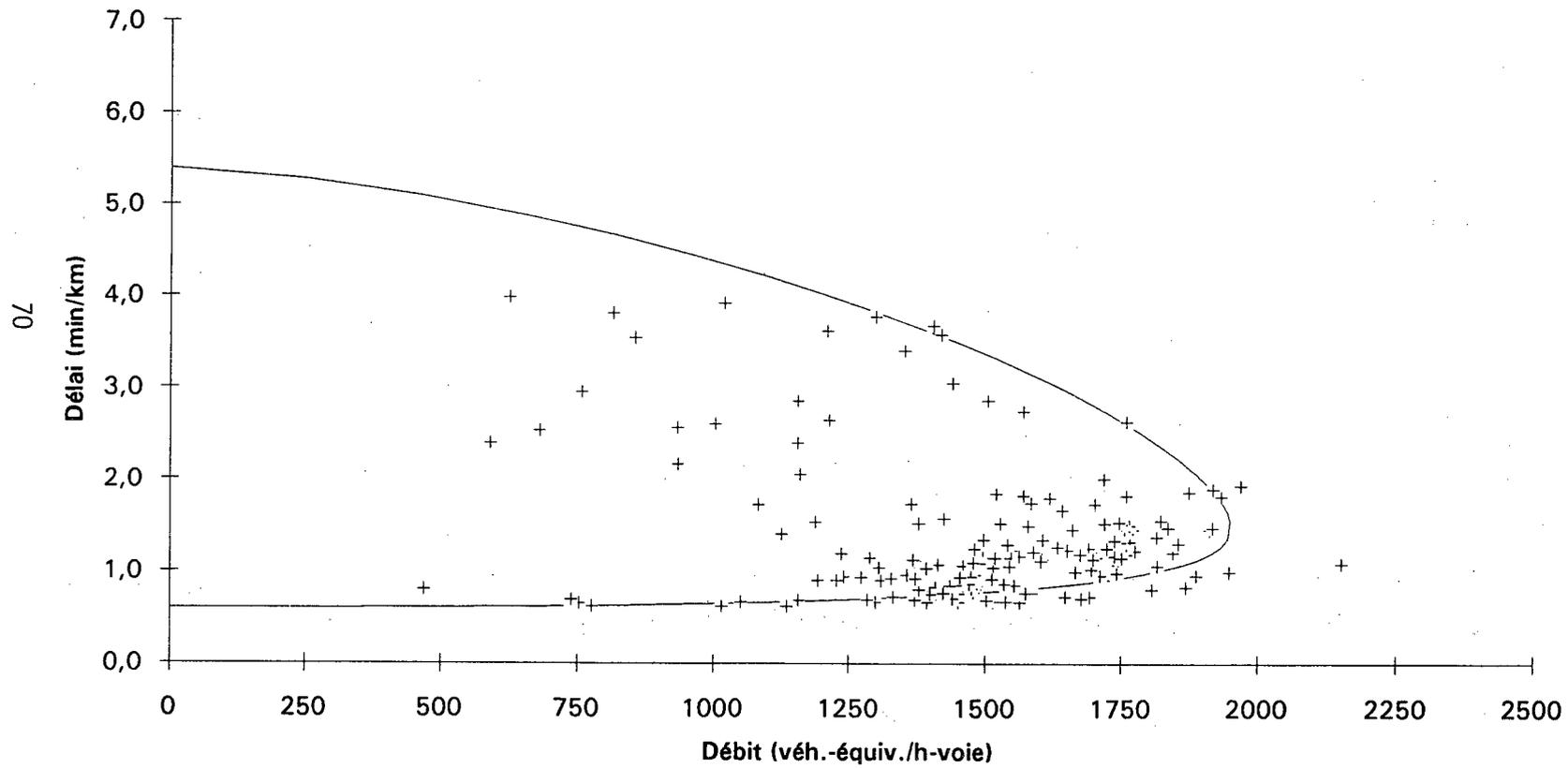


Figure 15

Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 3 des tronçons de la Métropolitaine

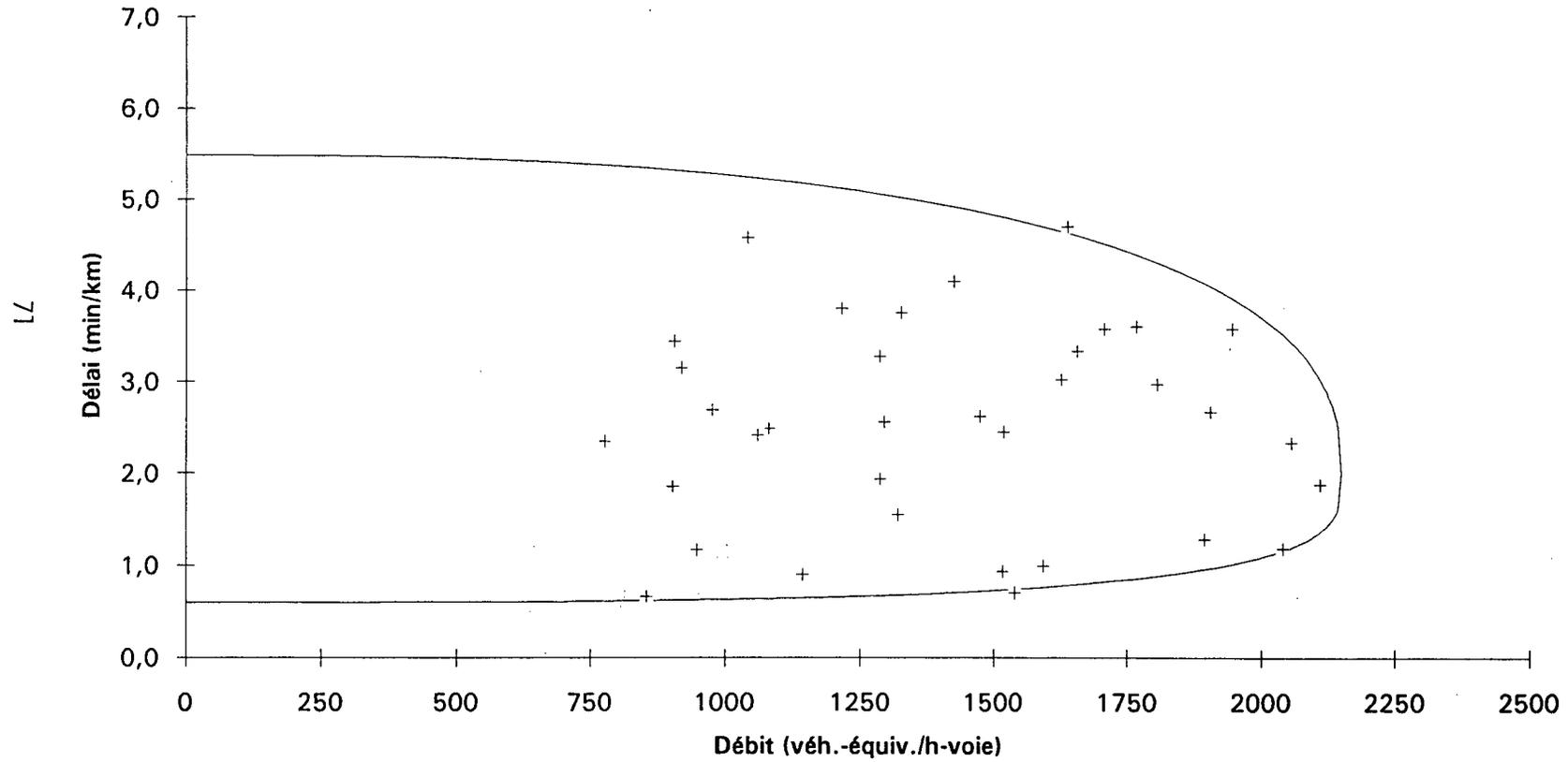


Figure 16

Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 4 des tronçons de la Métropolitaine

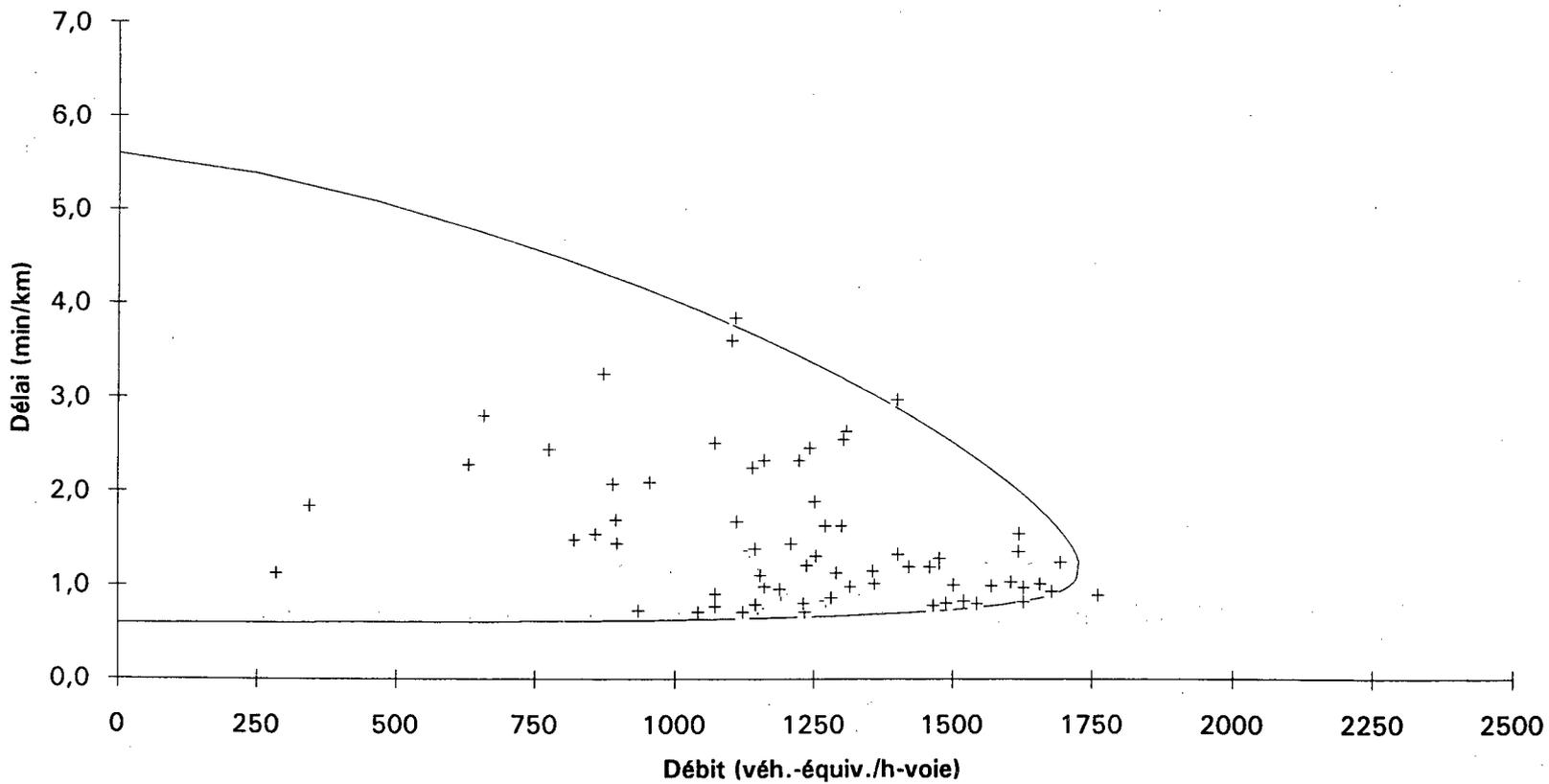


Figure 17

Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 5 des tronçons de la Métropolitaine

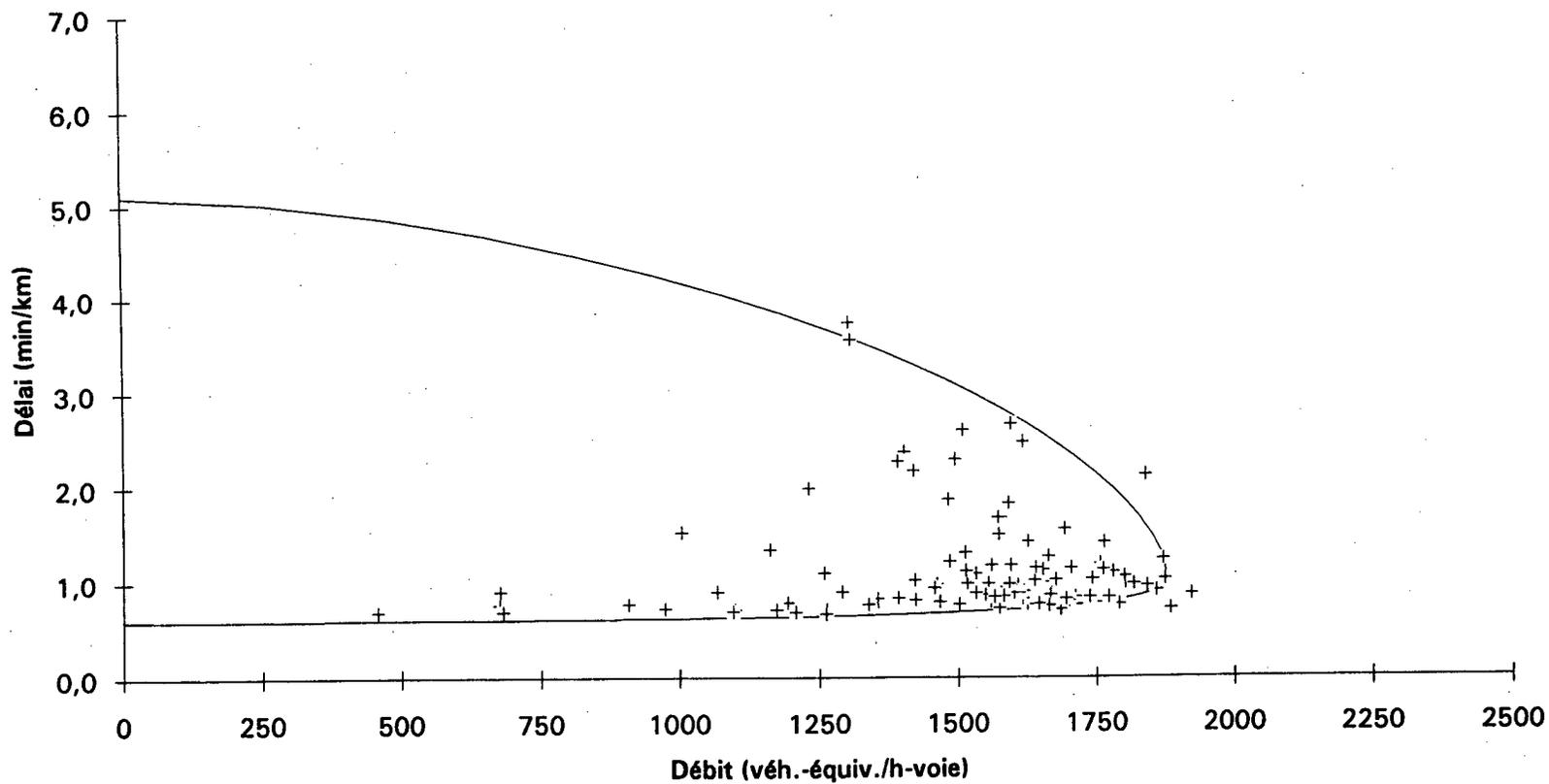


Figure 18

Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 6 des tronçons de la Métropolitaine

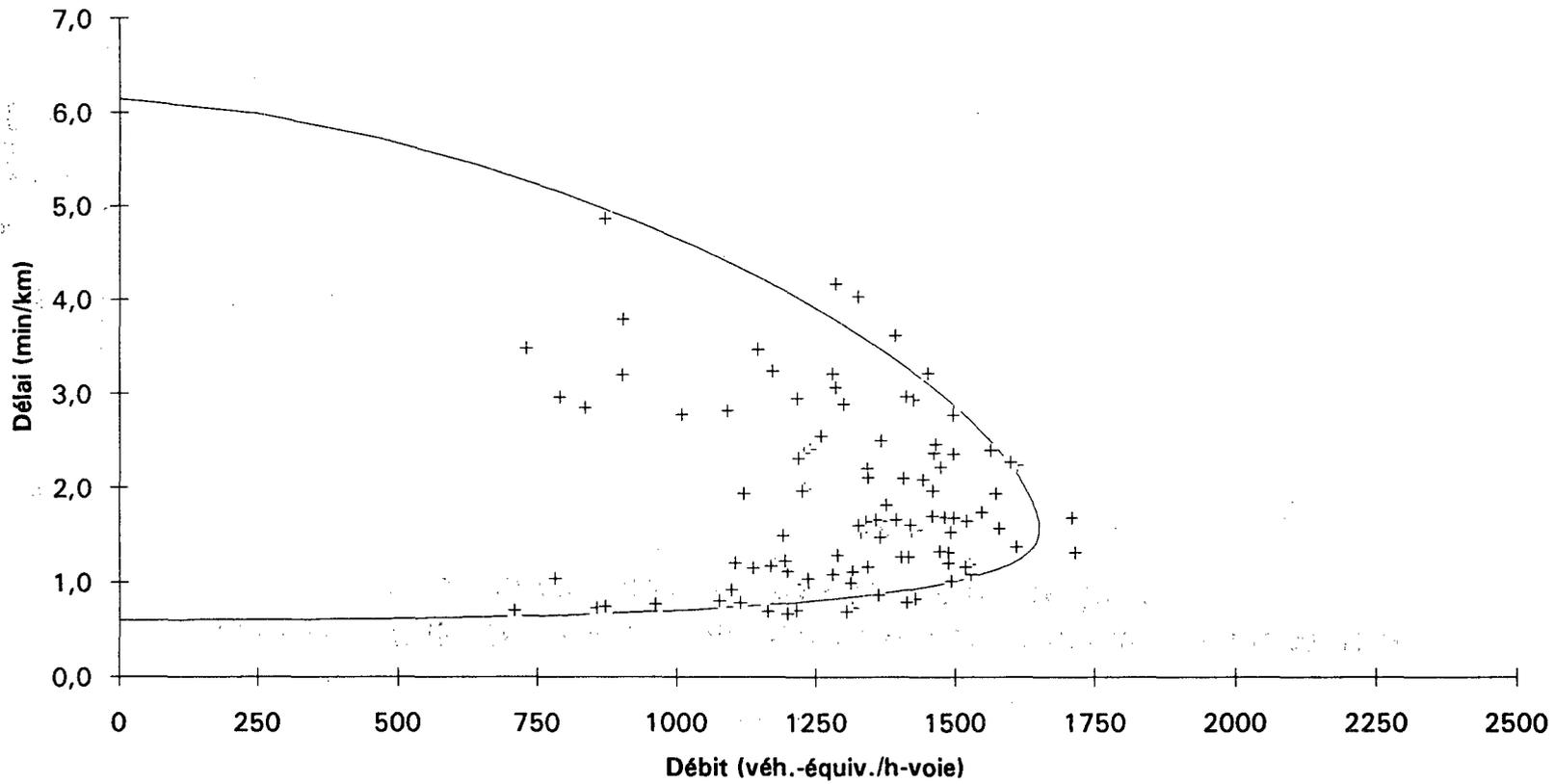


Figure 19

Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 7 des tronçons de la Métropolitaine

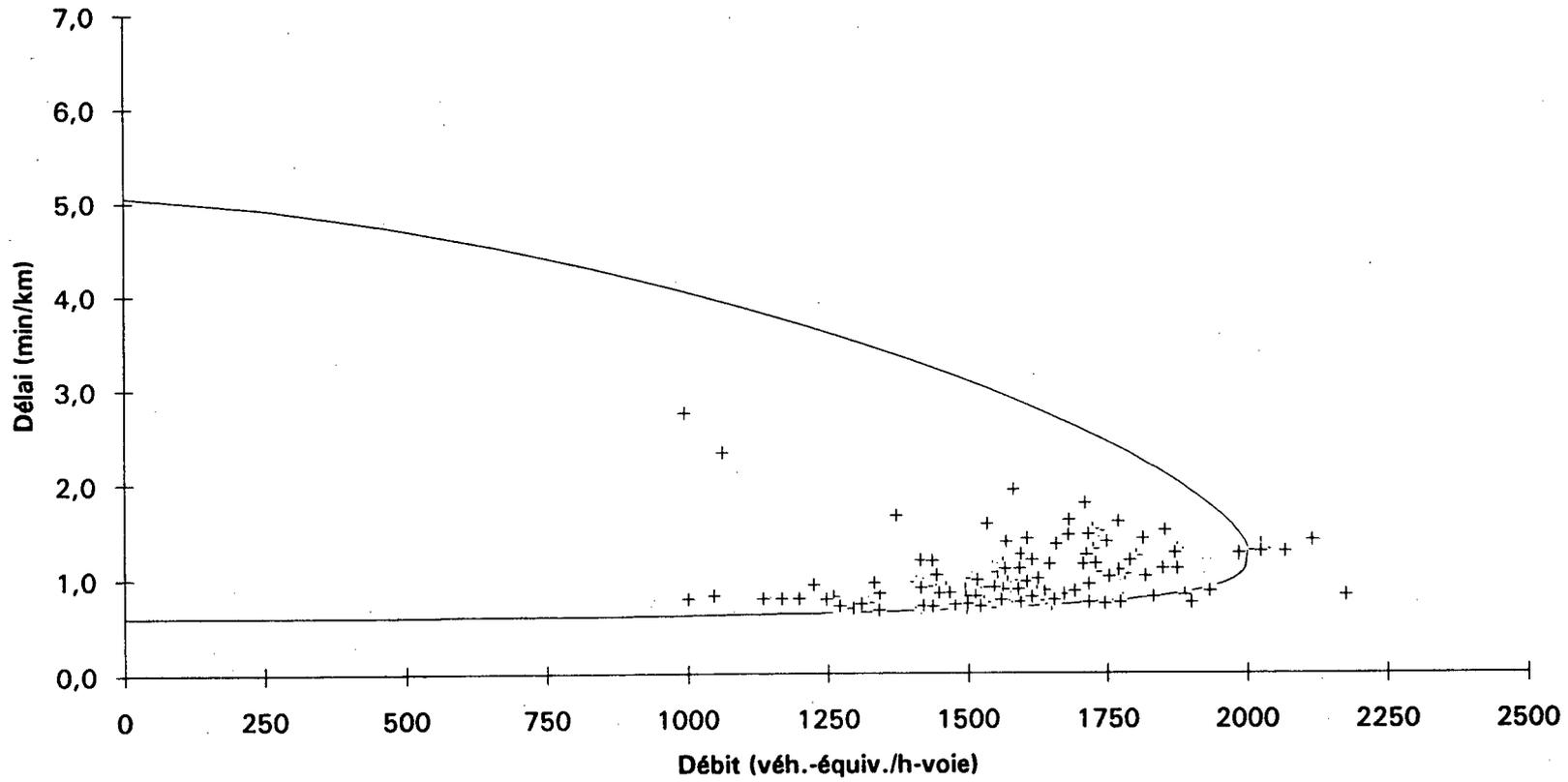
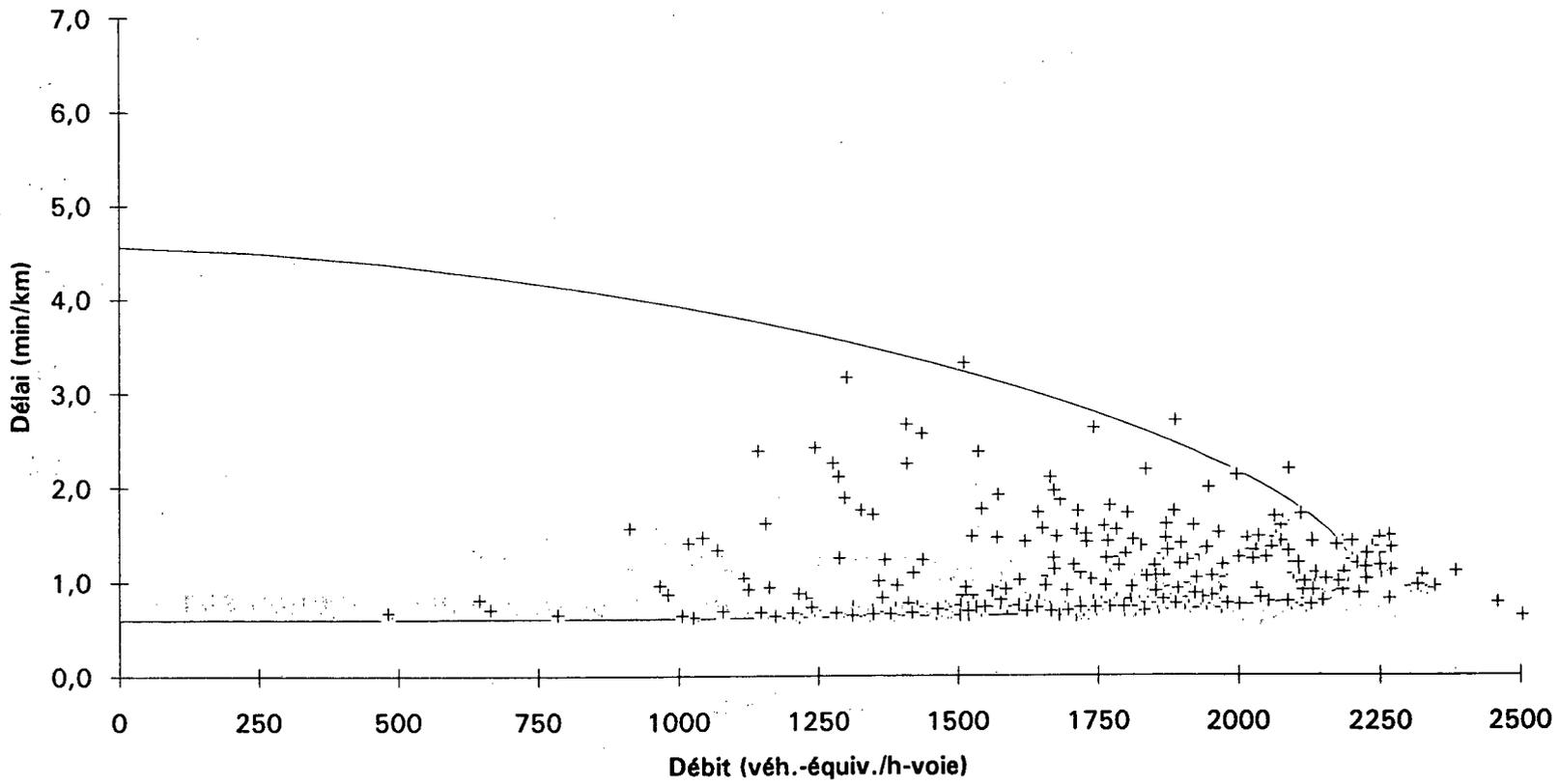


Figure 20

Les couples Délai/Débit et la relation à partir des paramètres estimés pour le groupe 8 des tronçons de la Métropolitaine



9. CONCLUSION

À partir de l'enquête sur les véhicules aux entrées et aux sorties de la Métropolitaine, nous avons formulé une approche mathématique permettant d'obtenir des couples Délai/Débit d'observations pour l'analyse de la relation Délai/Débit. L'imprécision dans les temps de parcours des véhicules attribuable aux observations selon les heures et les minutes seulement a été amoindrie par l'utilisation de délais moyens.

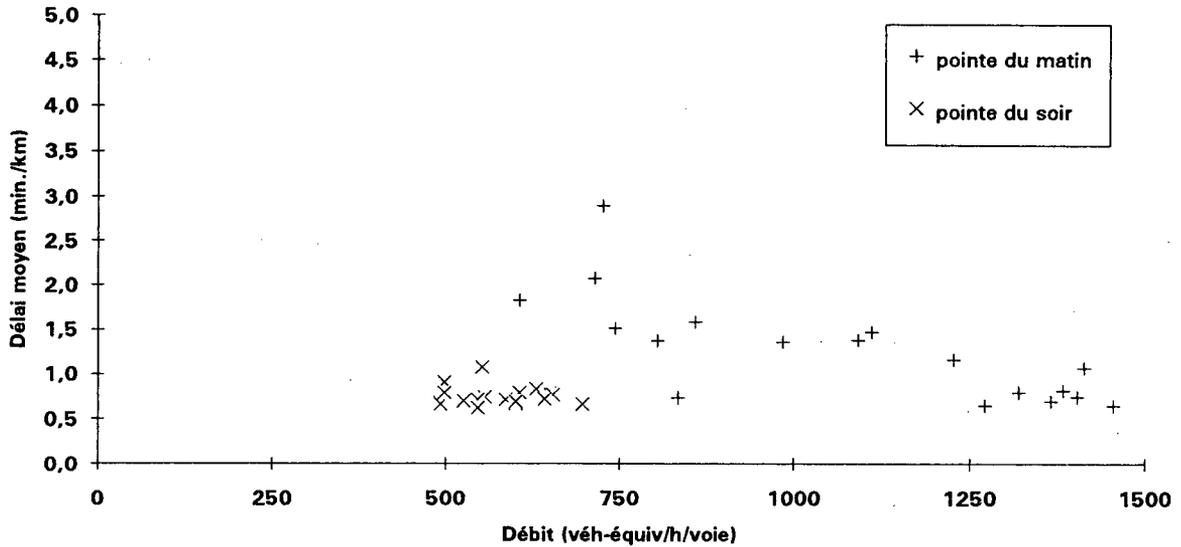
À la suite de nos réflexions antérieures sur le concept de la modélisation de la relation Volume/Délai (voir l'annexe C) et au développement d'un cadre d'analyse de la relation Délai/Débit à partir d'observations, nous avons réussi à découper la Métropolitaine entre les autoroutes A13 et A25 en segments de comportement différent en ce qui concerne la relation Délai/Débit y attenante.

Dans l'élaboration de fonctions Volume/Délai aux fins de la modélisation de la Métropolitaine, on pourra donc considérer que la Métropolitaine se divise en huit catégories avec des comportements différents basés sur les valeurs des paramètres estimés de ces catégories (voir tableau 9). En particulier, le paramètre D_{max} est directement une fonction des paramètres V_{max} , $D(V_{max})$ et LV par la relation (14) où le paramètre LV a été fixé. Le paramètre D_{max} représente une appréciation de la limite du délai imparti en hypercongestion, ce qui devrait transparaître dans les fonctions Volume/Délai considérées alors que le paramètre V_{max} s'apparente à la capacité nominale.

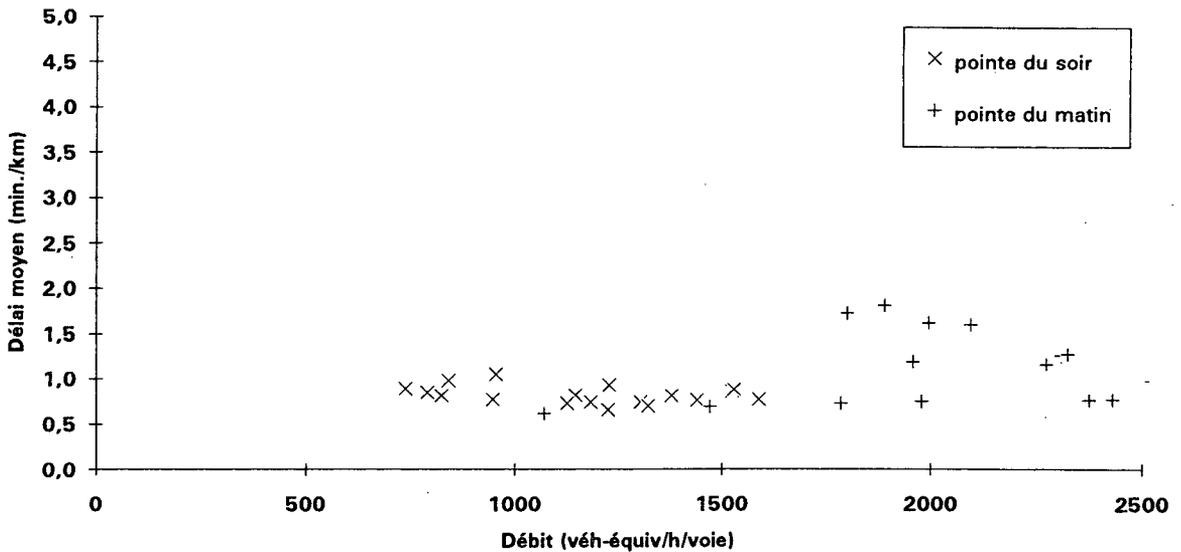
ANNEXE A

**COUPLES DÉLAI/DÉBIT EN PÉRIODES DE POINTE EN 1991
POUR CHAQUE TRONÇON DE MÉTROPOLITAINE EST
ET DE MÉTROPOLITAINE OUEST**

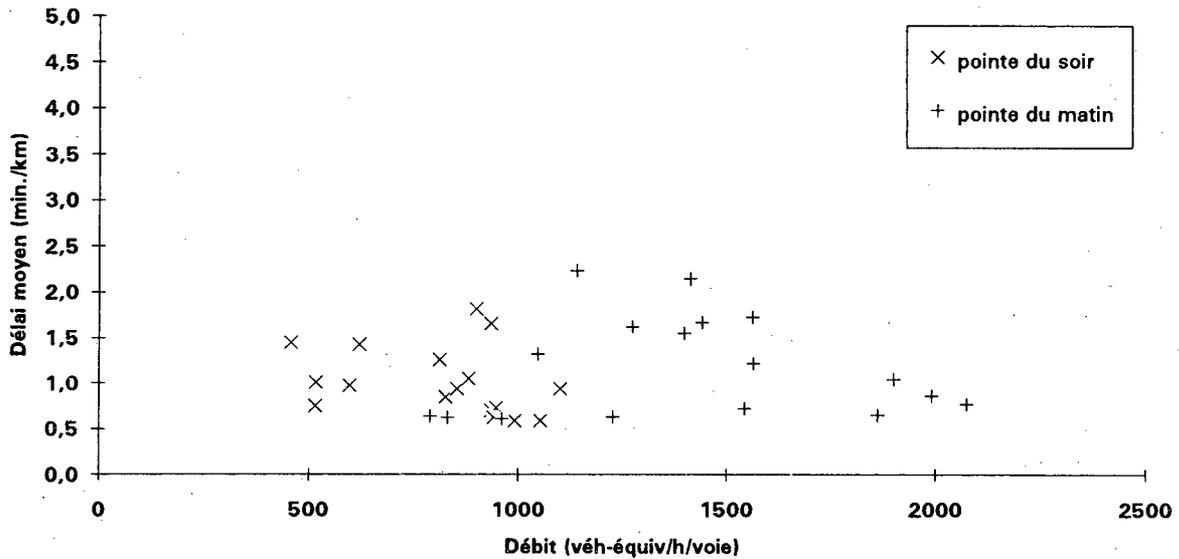
**Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - Rampe d'accès à partir de l'autoroute A13
nord (tronçon 1)**



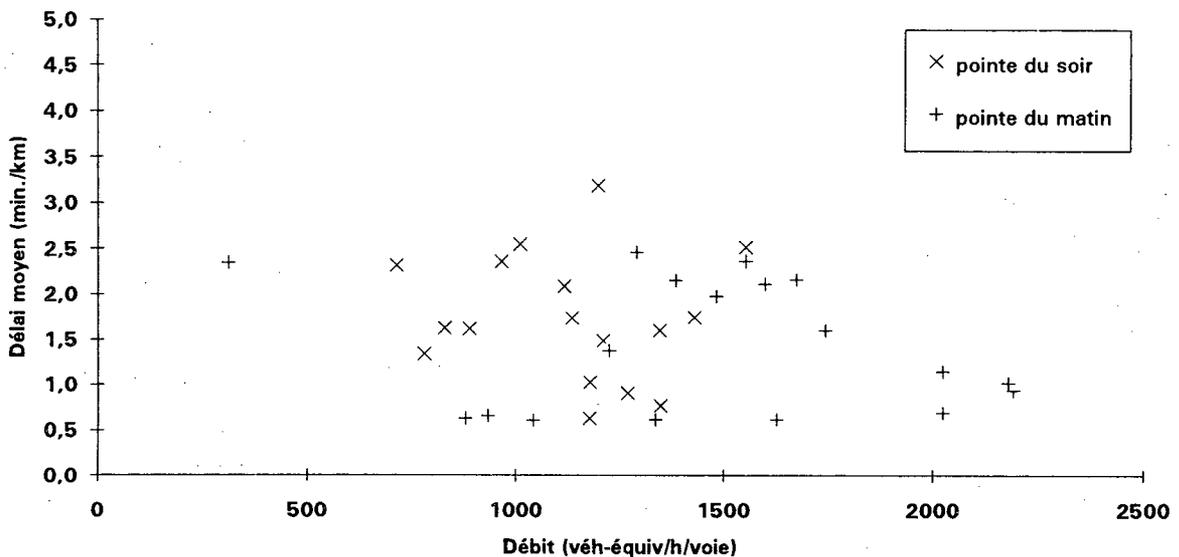
**Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'autoroute A13 et la sortie pour
Côte-Vertu (tronçon 2)**



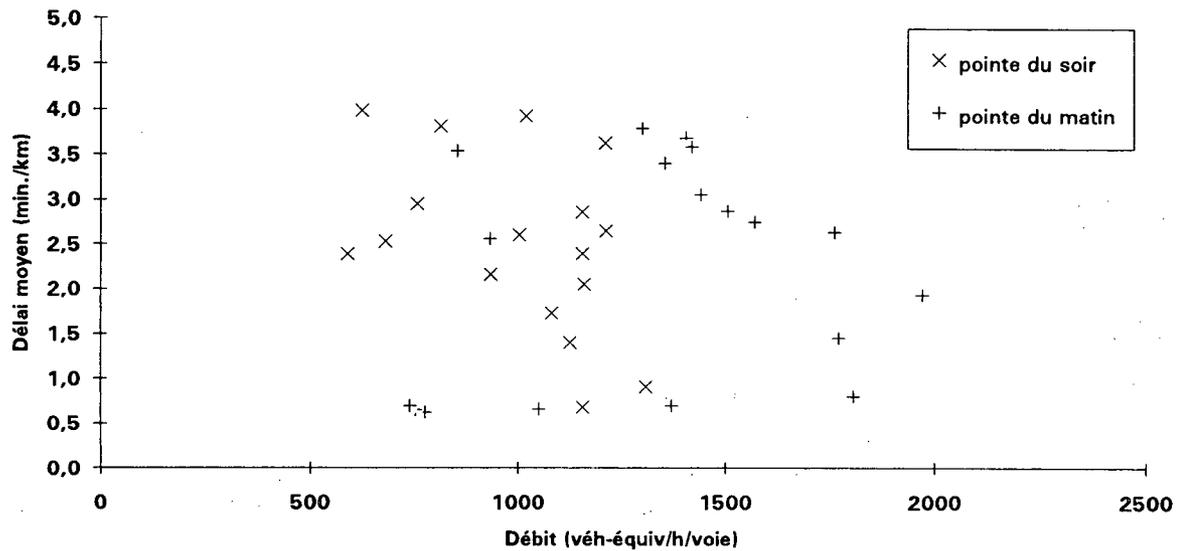
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
 A40 direction Est - entre la sortie pour Côte-Vertu et l'entrée
 de Côte-Vertu pour A40 (tronçon 3)



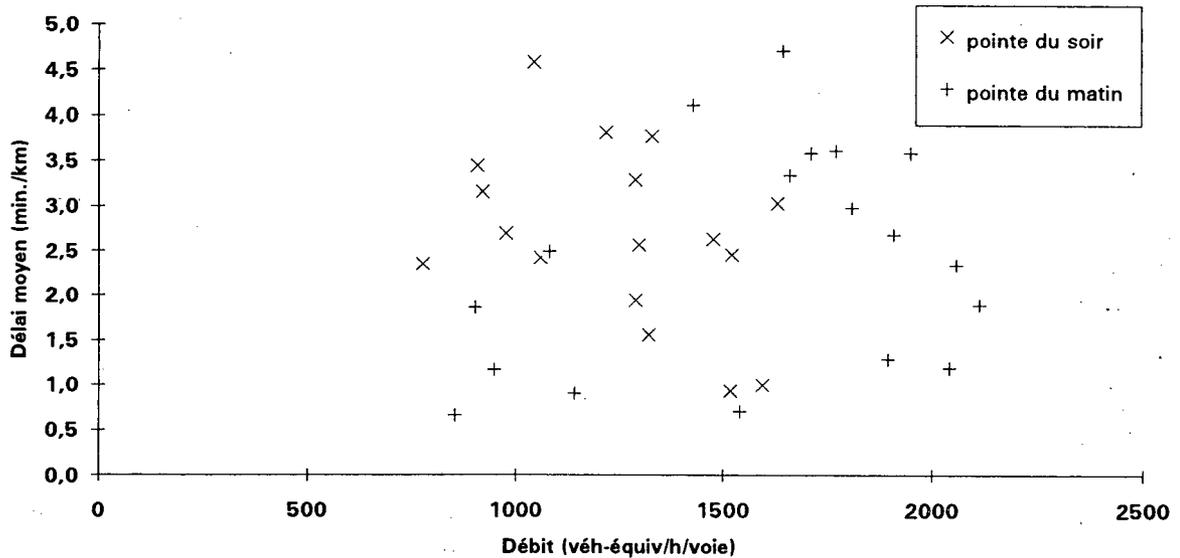
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
 A40 direction Est - entre l'entrée de Côte-Vertu pour A40 et
 la sortie pour Côte-de-Liesse (tronçon 4)



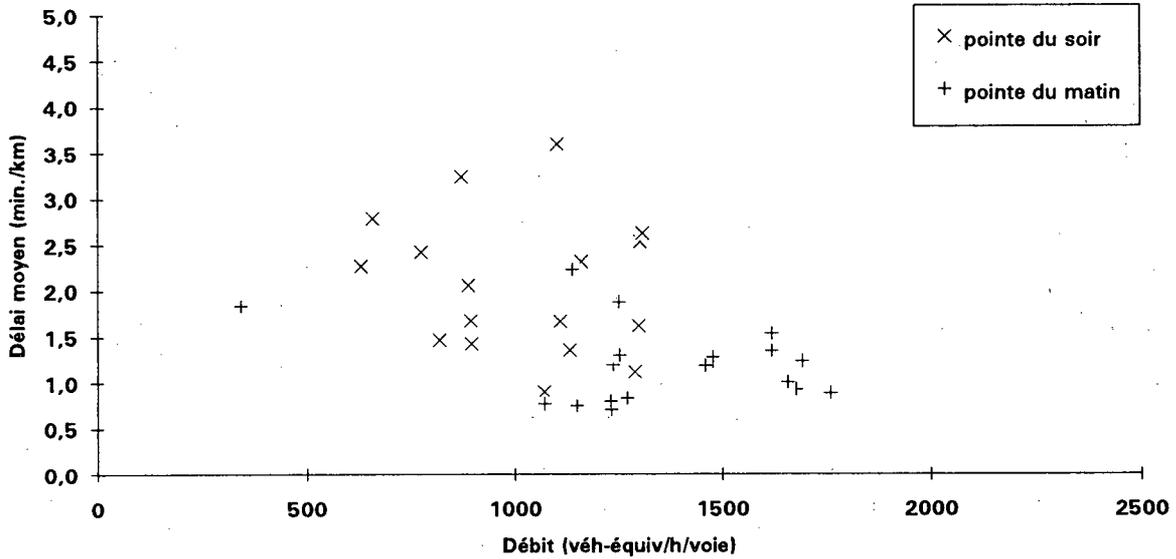
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour Côte-de-Liesse et
l'entrée de Côte-de-Liesse pour A40 (tronçon 5)



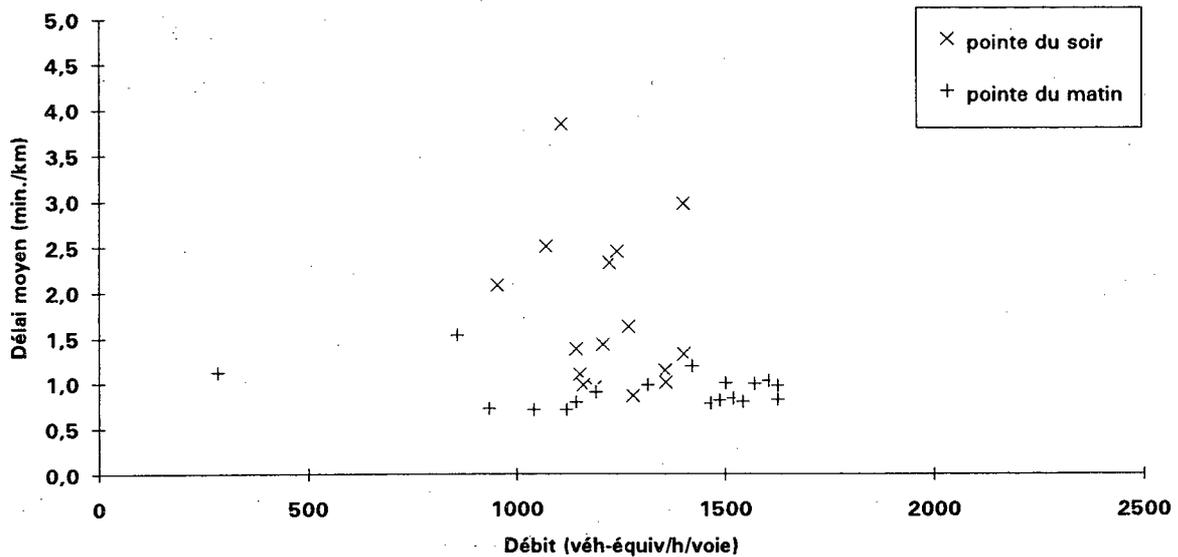
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée de Côte-de-Liesse pour A40
et la sortie pour Décarie sud (tronçon 6)



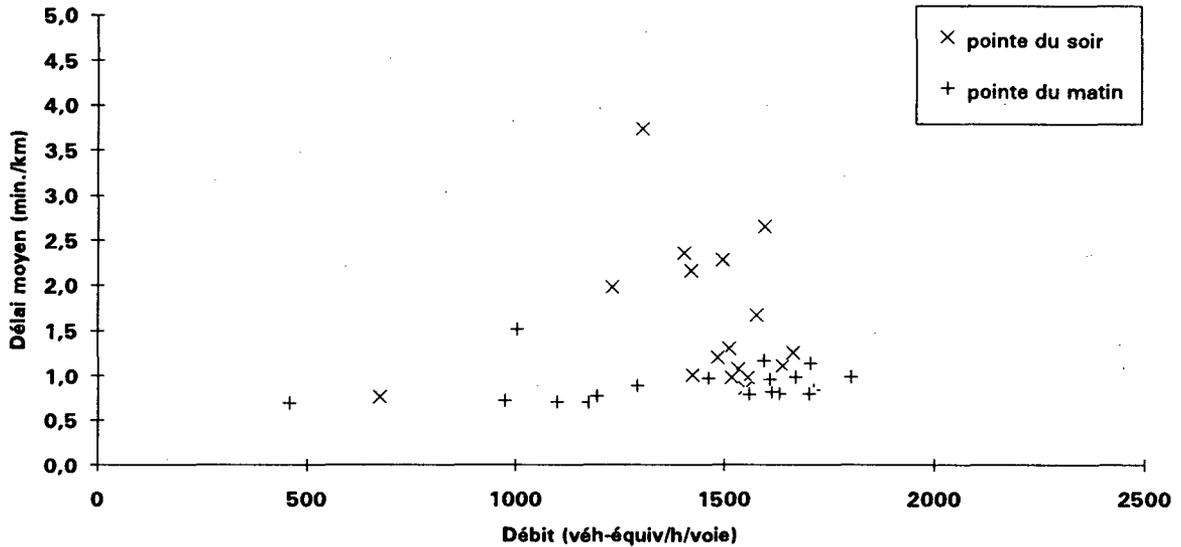
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour Décarie sud et l'entrée
de Décarie sud pour A40 (tronçon 7)



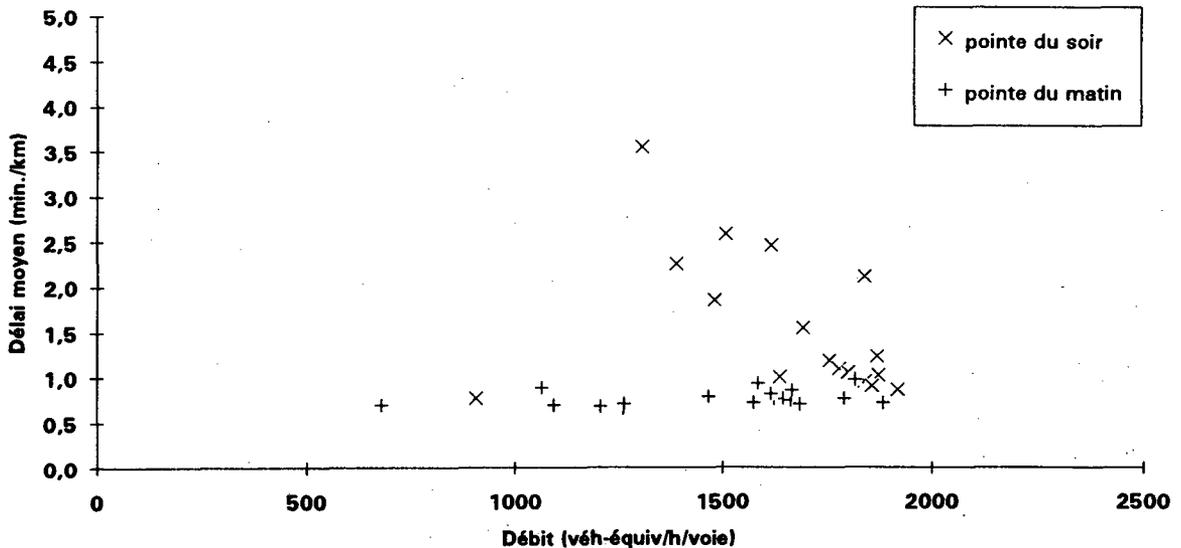
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée de Décarie sud pour A40 et
l'entrée de Ste-Croix pour A40 (tronçon 8)



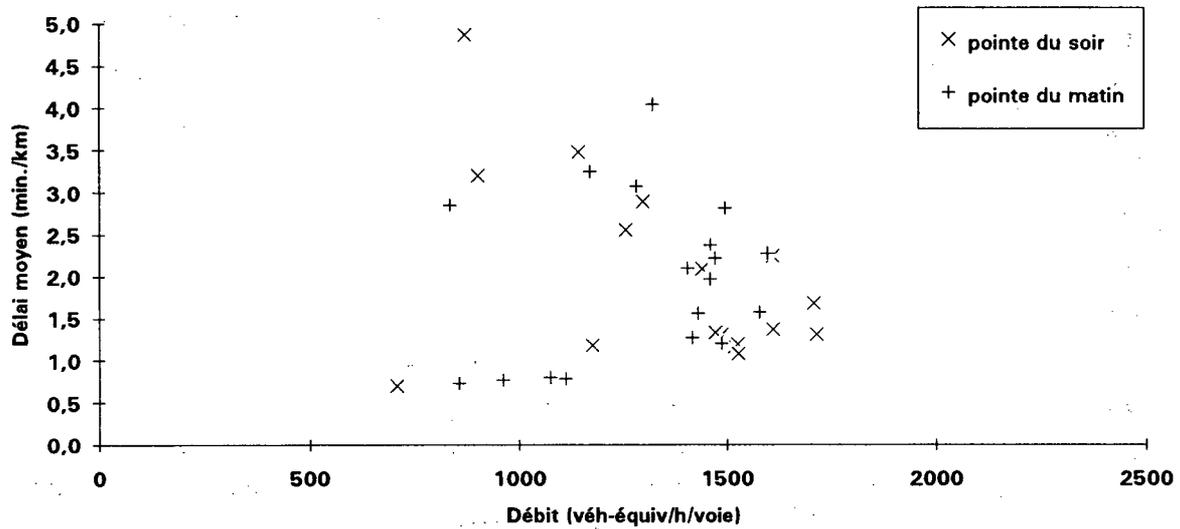
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée de Ste-Croix pour A40 et la
sortie pour Stinson (tronçon 9)



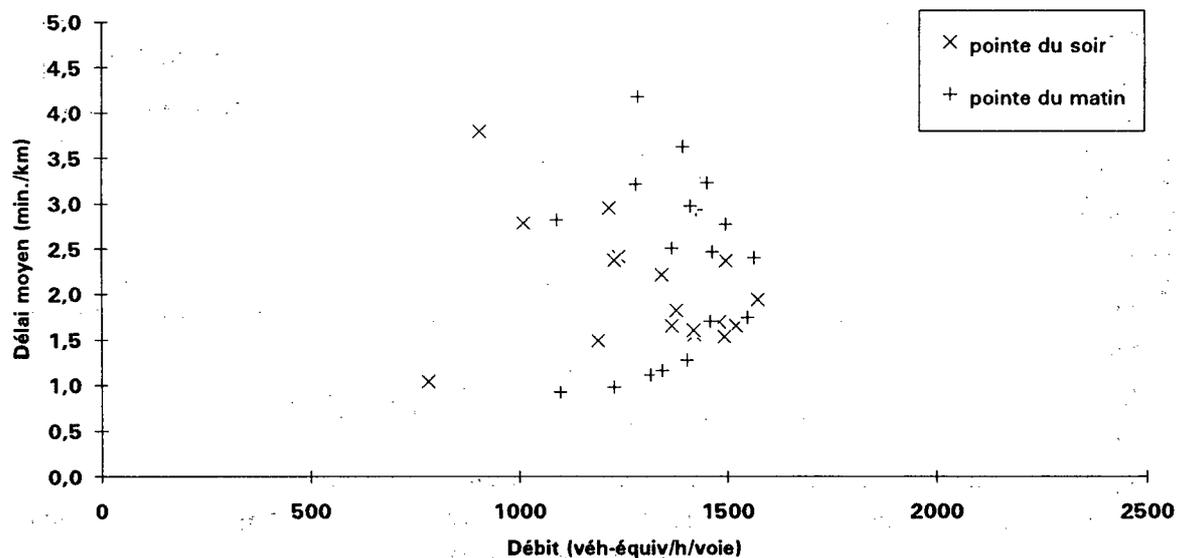
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour Stinson et la sortie
pour autoroute des Laurentides (tronçon 10)



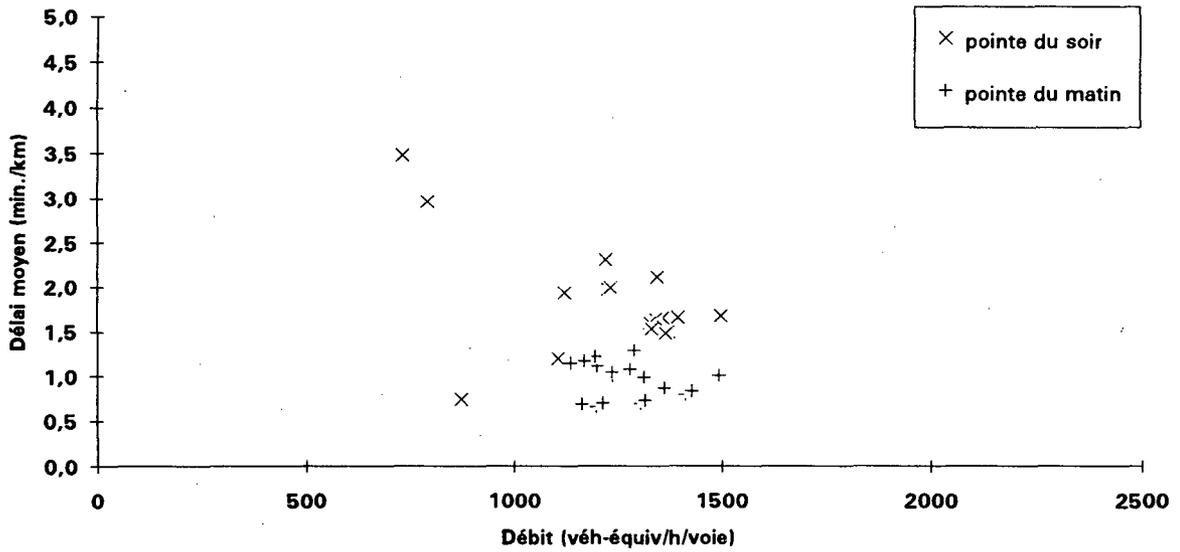
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour autoroute des
Laurentides et l'entrée de autoroute des Laurentides pour A40
(tronçon 11)



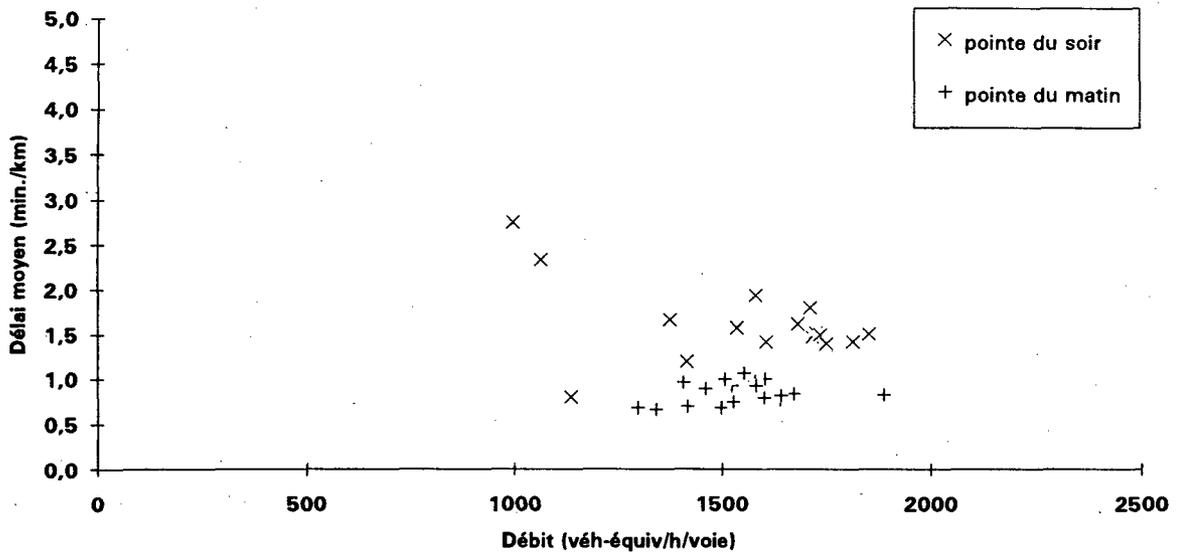
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée de autoroute des
Laurentides pour A40 et la sortie pour St-Laurent (tronçon 12)



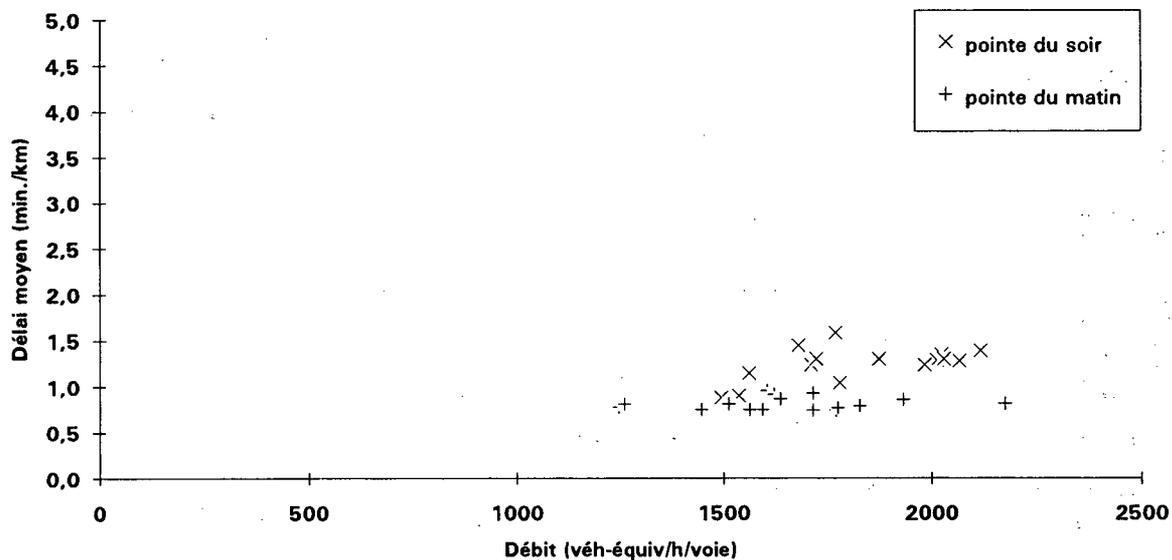
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour St-Laurent et l'entrée
de St-Laurent pour A40 (tronçon 13)



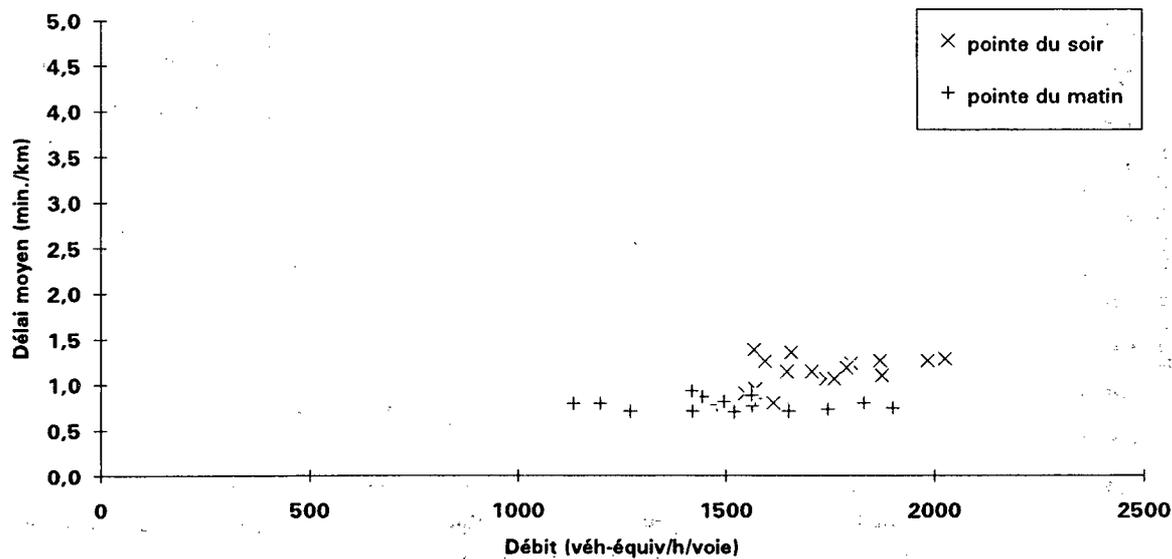
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée de St-Laurent pour A40 et
l'entrée/sortie St-Hubert (tronçon 14)



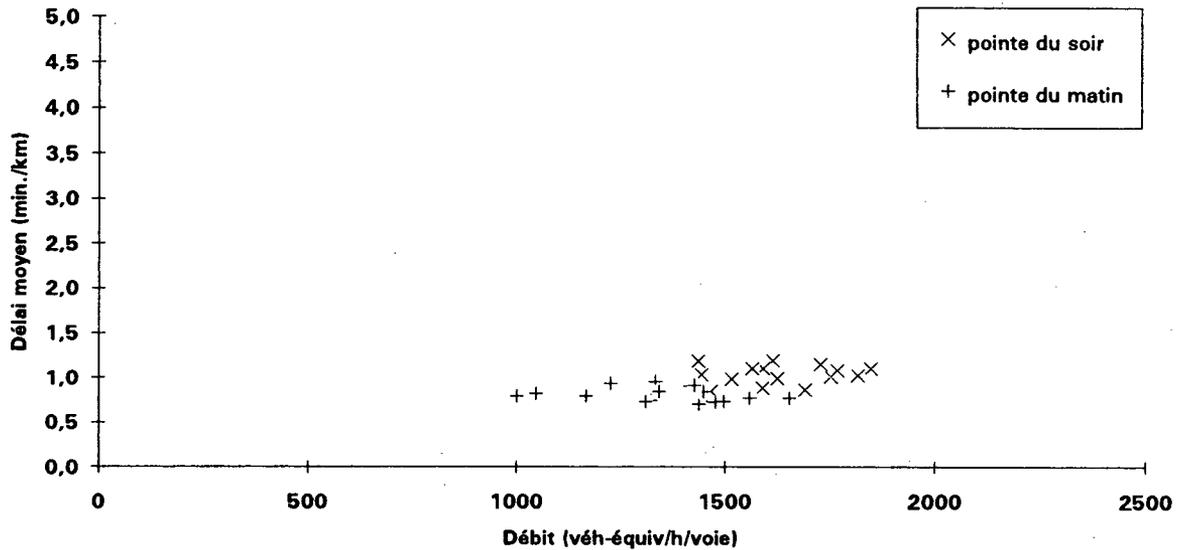
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée/sortie St-Hubert et la sortie
pour Iberville (tronçon 15)



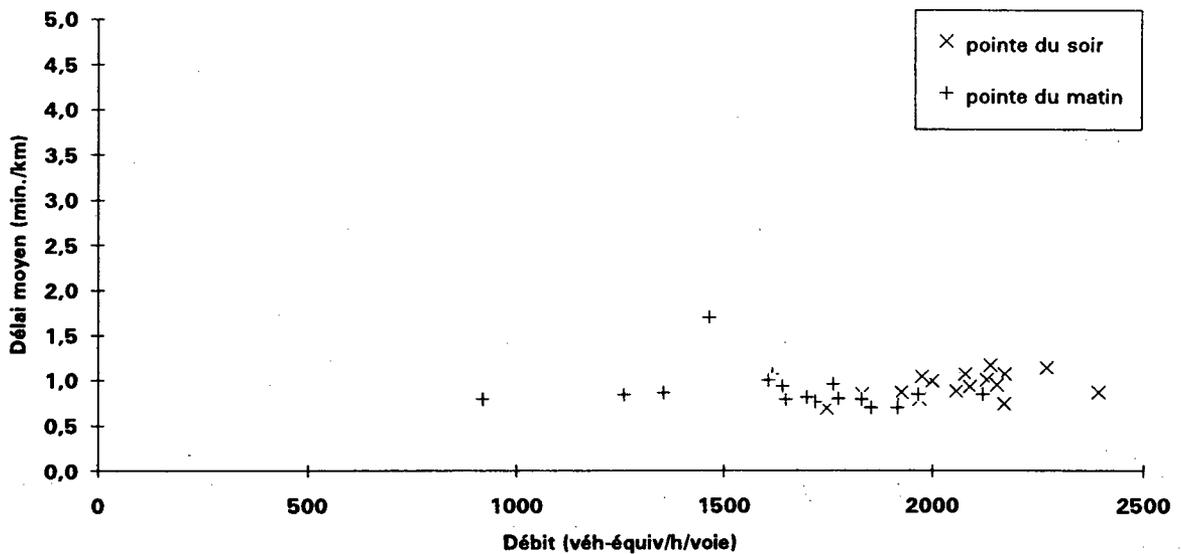
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour Iberville et la sortie
pour St-Michel (tronçon 16)



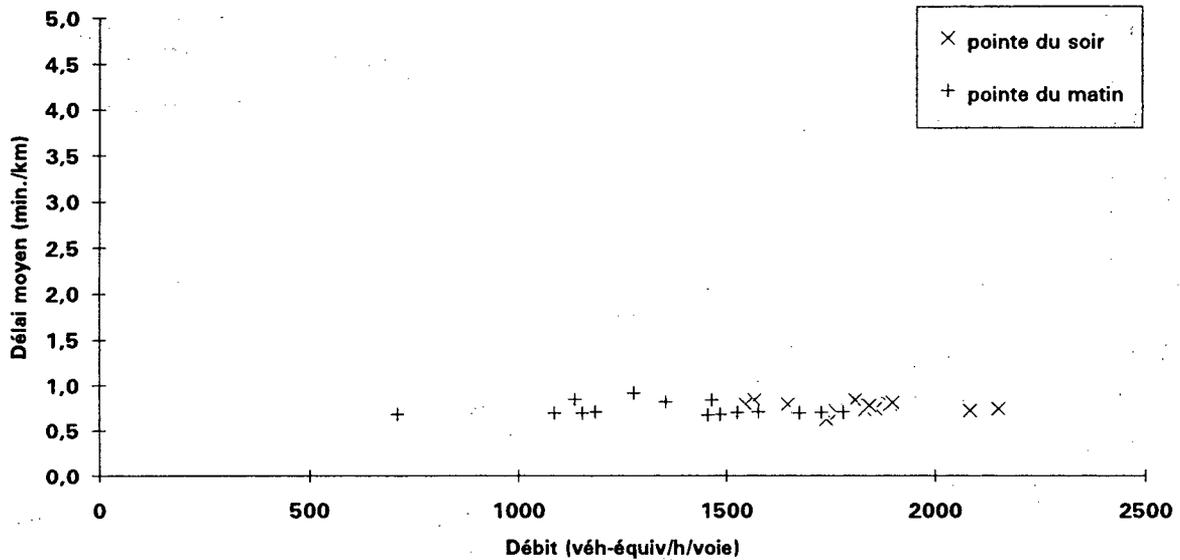
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour St-Michel et l'entrée
de St-Michel pour A40 (tronçon 17)



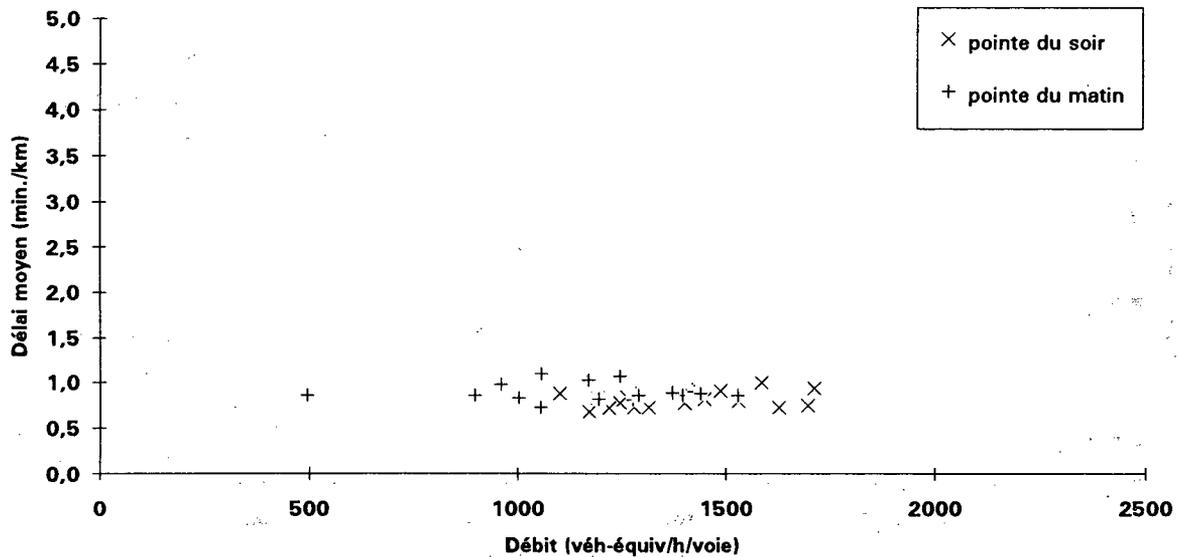
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée de St-Michel pour A40 et la
sortie pour Pie IX (tronçon 18)



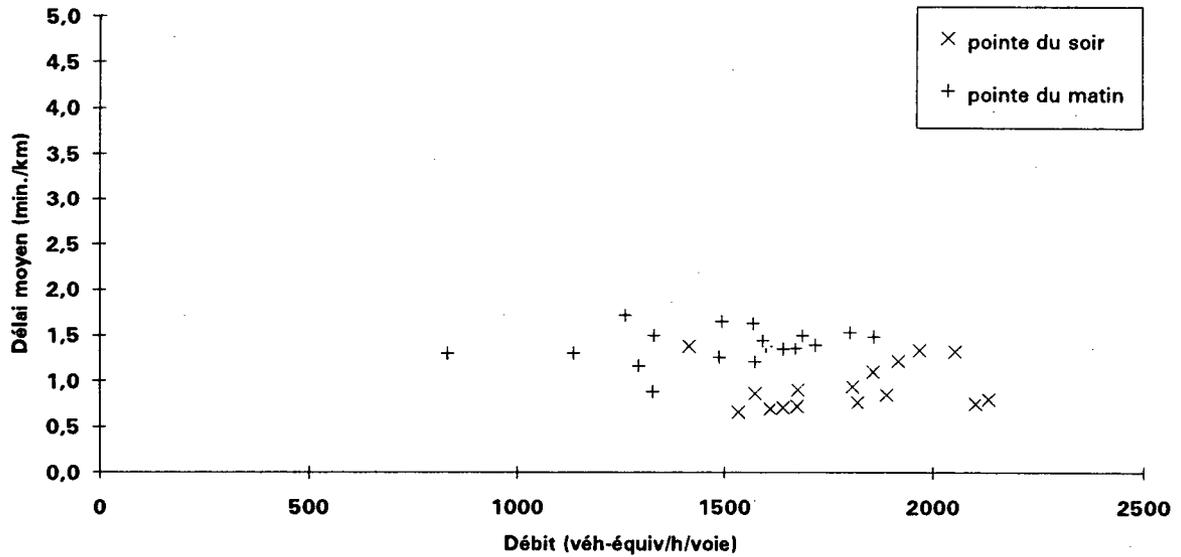
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour Pie IX et la sortie pour
Lacordaire (tronçon 19)



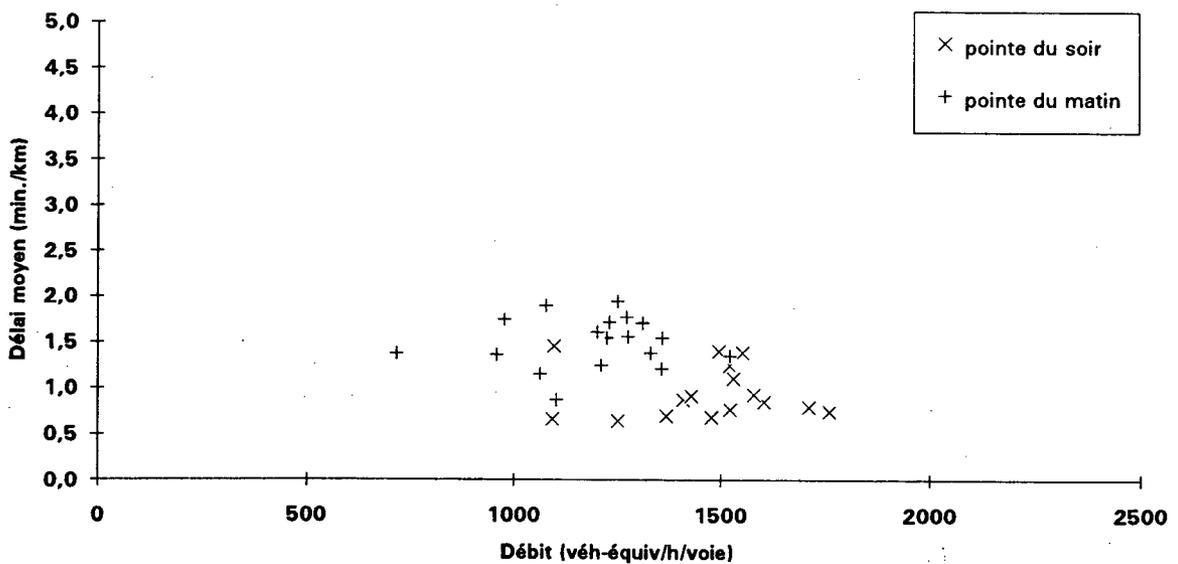
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour Lacordaire et l'entrée
de Lacordaire pour A40 (tronçon 20)



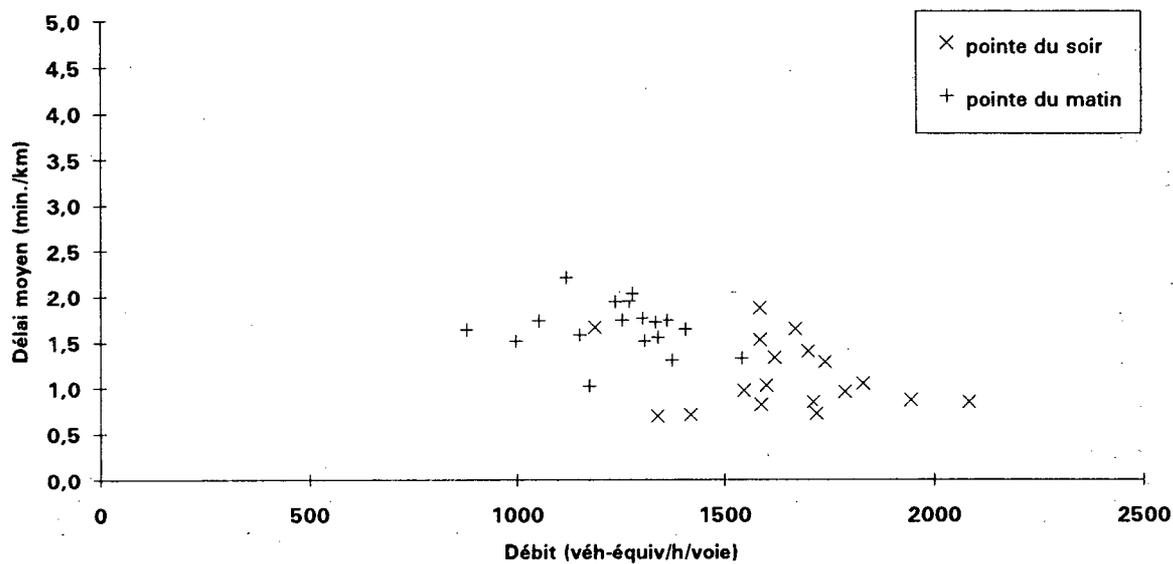
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée de Lacordaire pour A40 et la
sortie pour Langelier (tronçon 21)



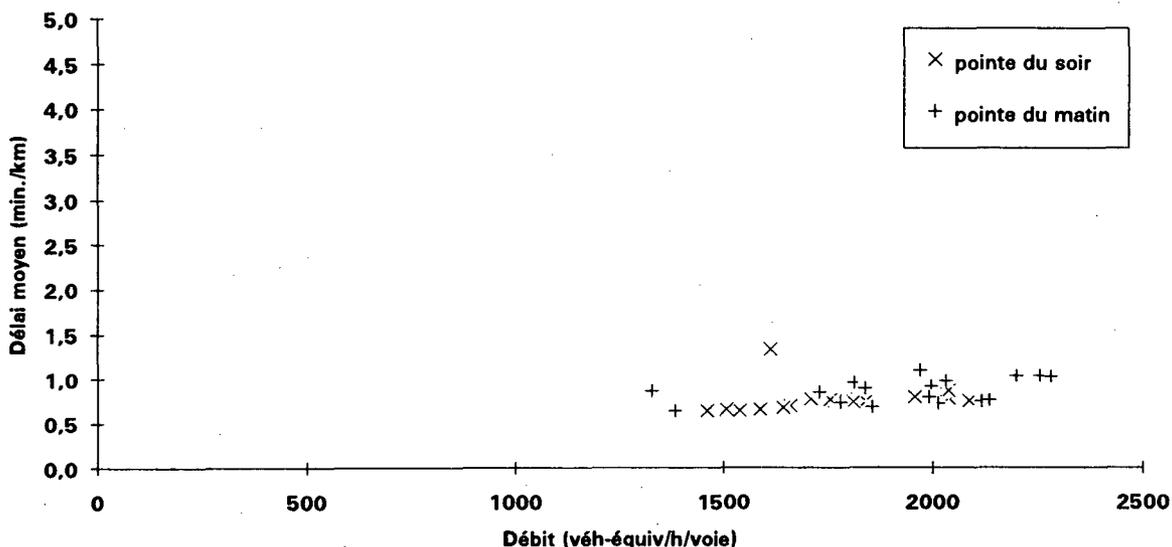
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre la sortie pour Langelier et l'entrée de
Langelier pour A40 (tronçon 22)



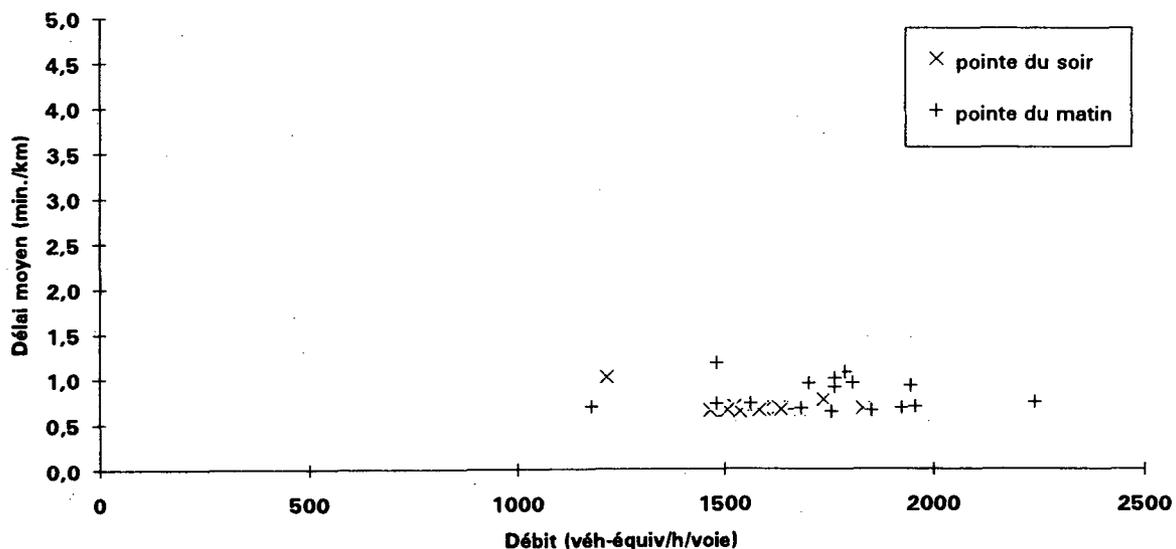
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Est - entre l'entrée de Langelier pour A40 et
l'autoroute A25 (tronçon 23)



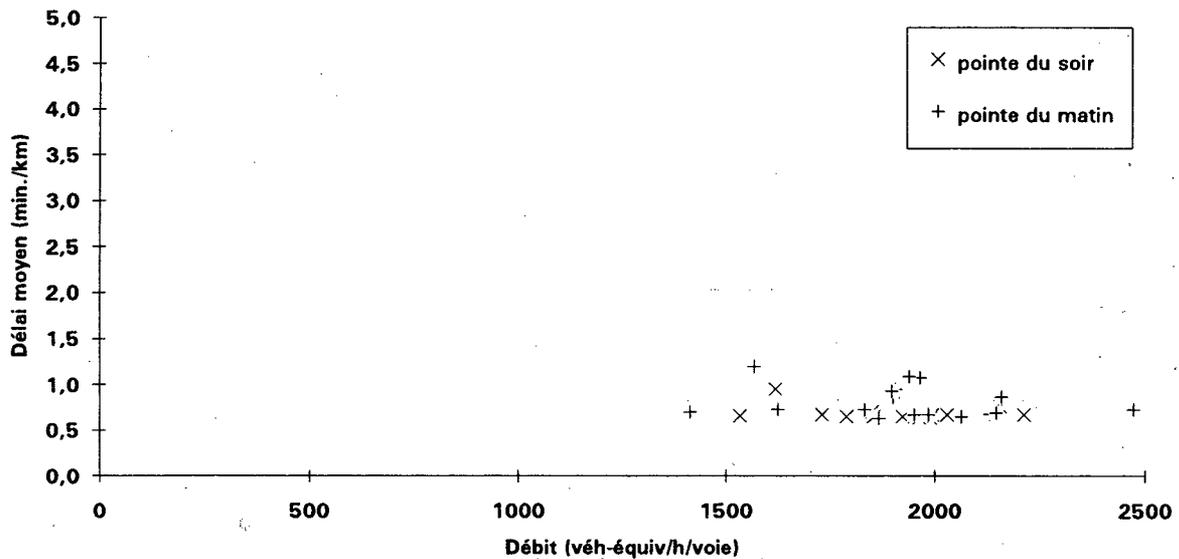
**Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'autoroute A25 et la sortie pour
Langelier (tronçon 1)**



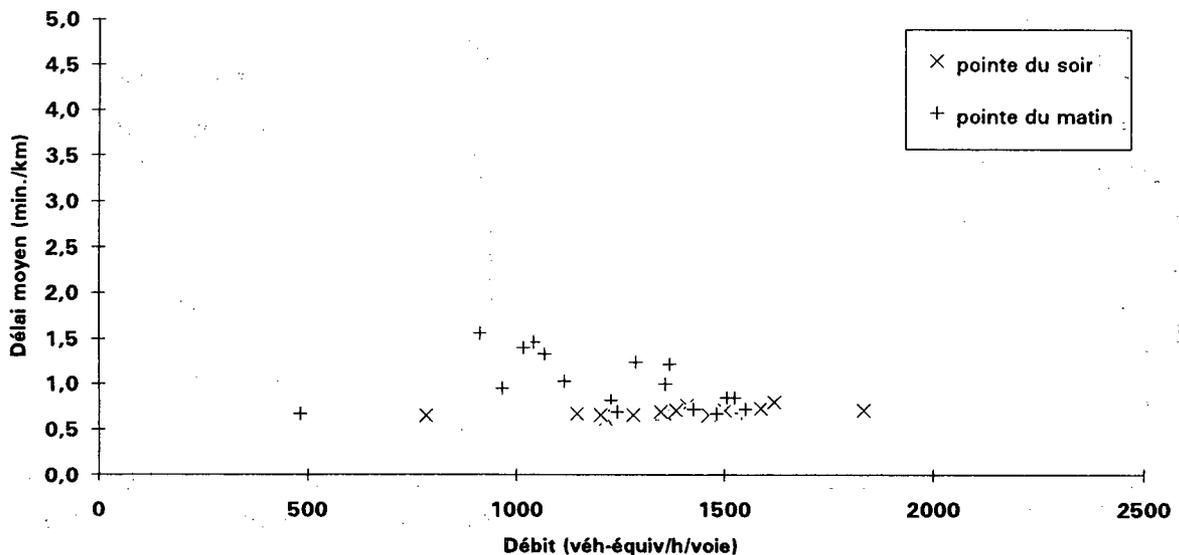
**Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre la sortie pour Langelier et l'entrée
de Langelier pour A40 (tronçon 2)**



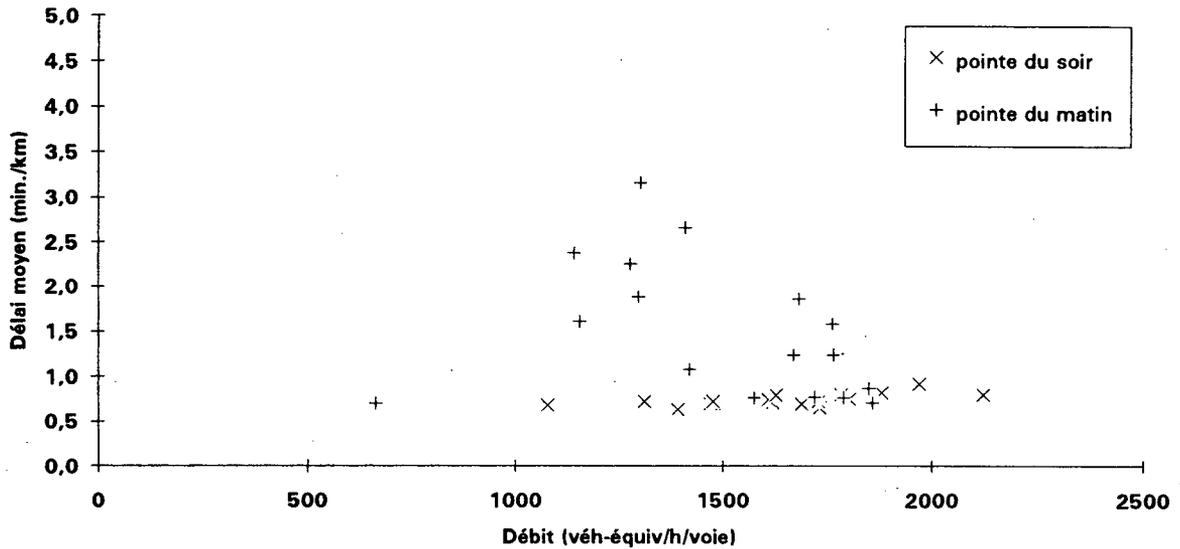
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de Langelier pour A40 et
la sortie pour Lacordaire (tronçon 3)



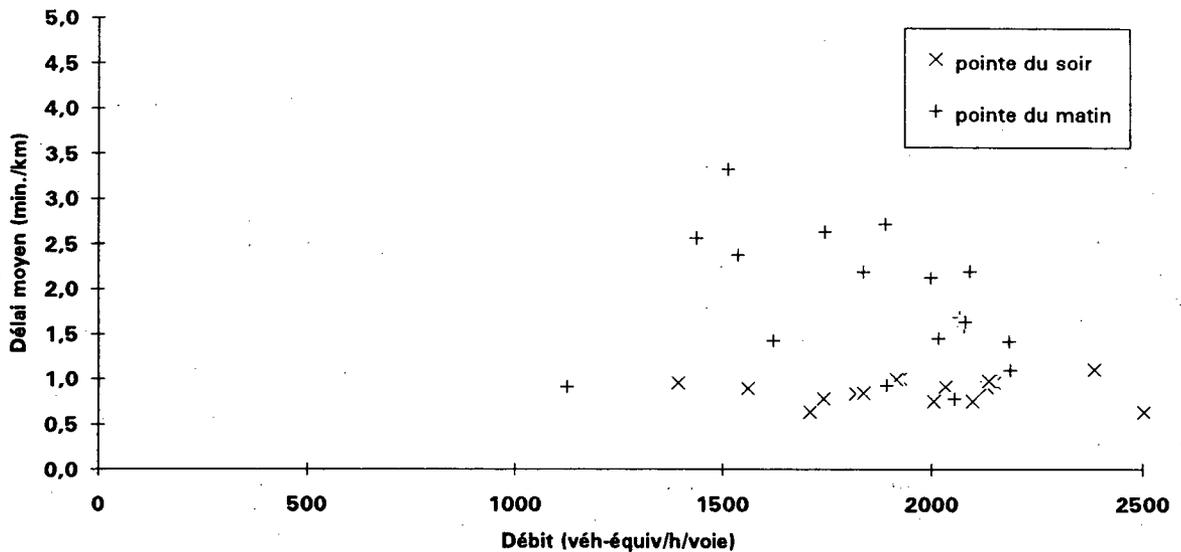
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre la sortie pour Lacordaire et
l'entrée de Lacordaire pour A40 (tronçon 4)



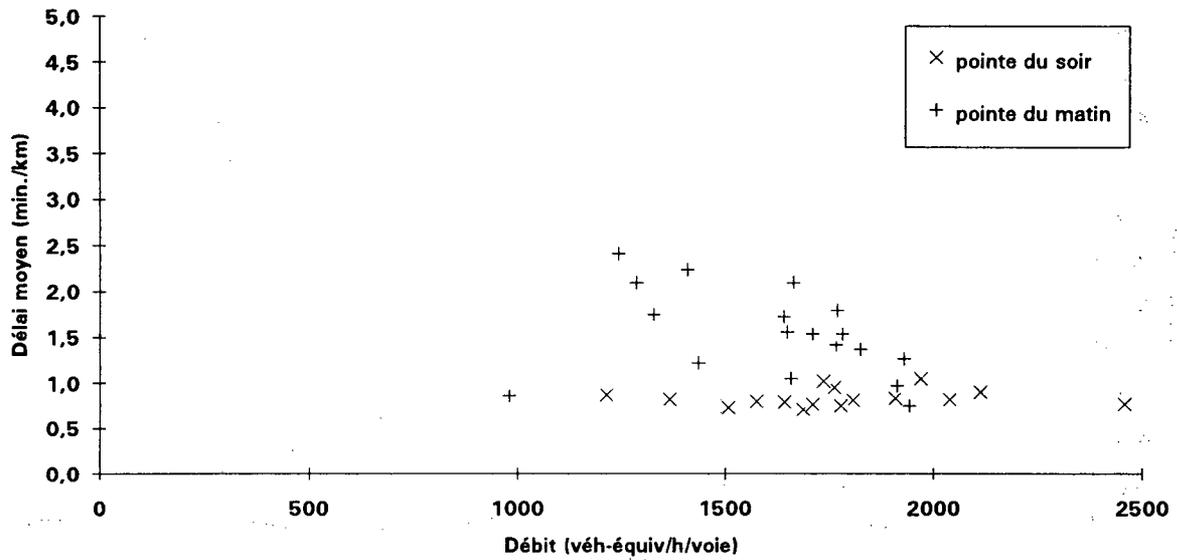
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de Lacordaire pour A40
et l'entrée de Pie IX pour A40 (tronçon 5)



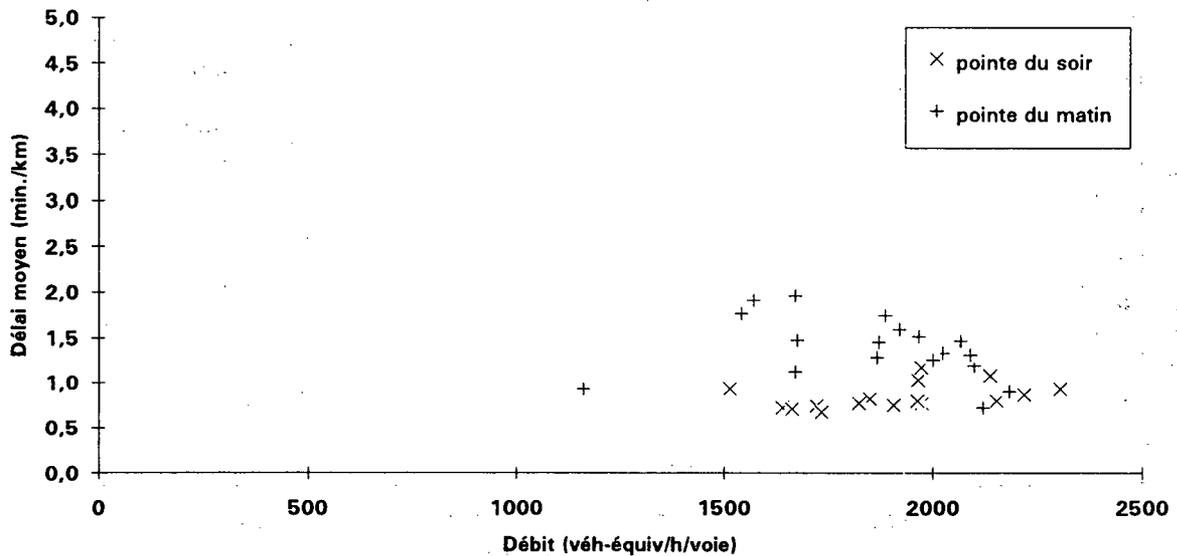
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de Pie IX pour A40 et la
sortie pour St-Michel (tronçon 6)



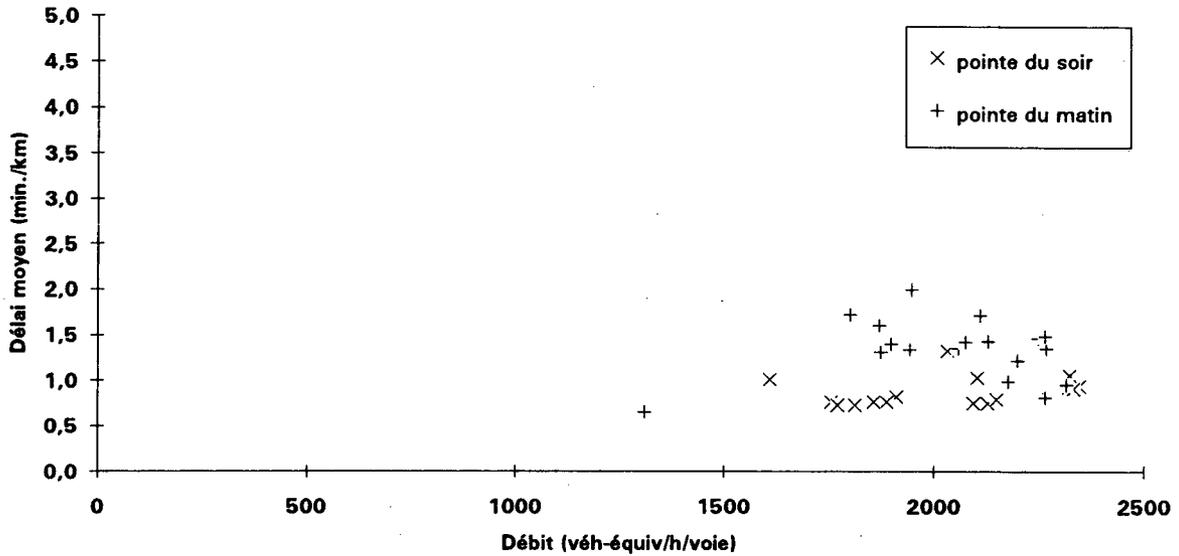
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre la sortie pour St-Michel et l'entrée
de St-Michel pour A40 (tronçon 7)



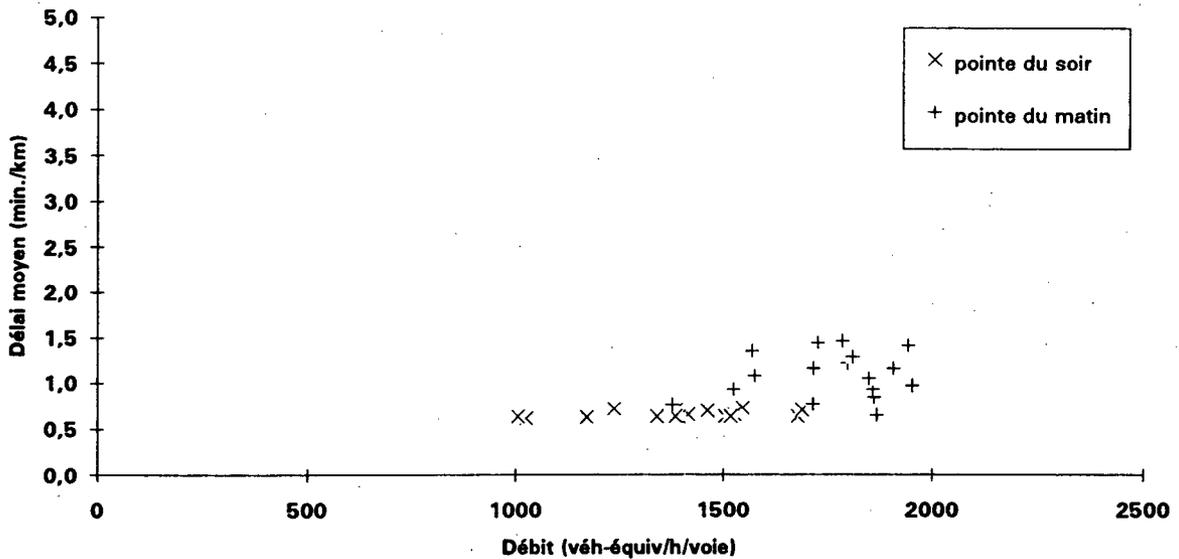
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de St-Michel pour A40 et
l'entrée de Iberville pour A40 (tronçon 8)



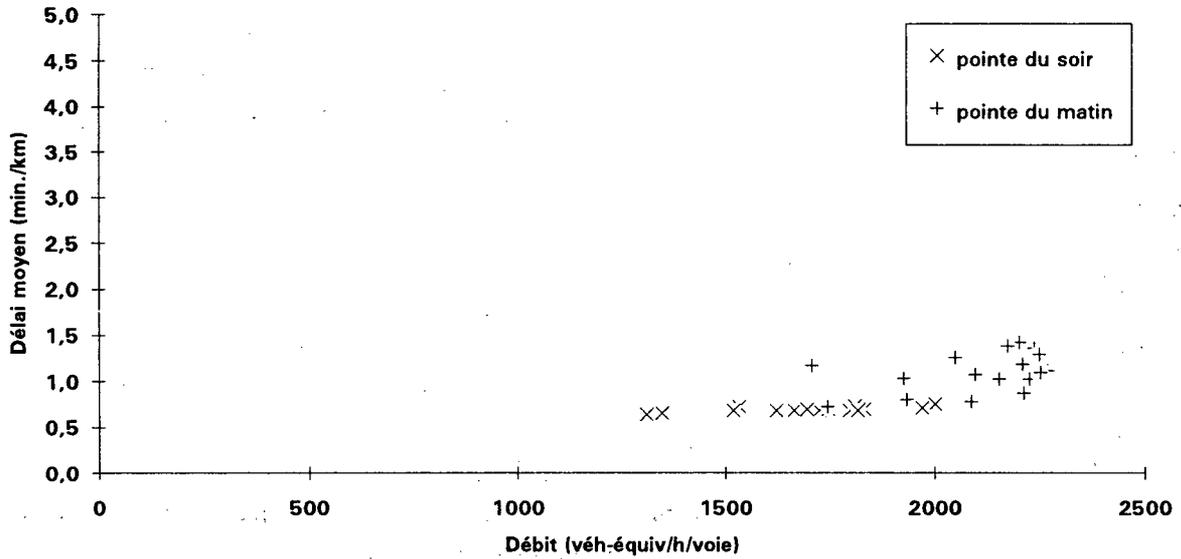
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de Iberville pour A40 et la
sortie pour Christophe-Colomb (tronçon 9)



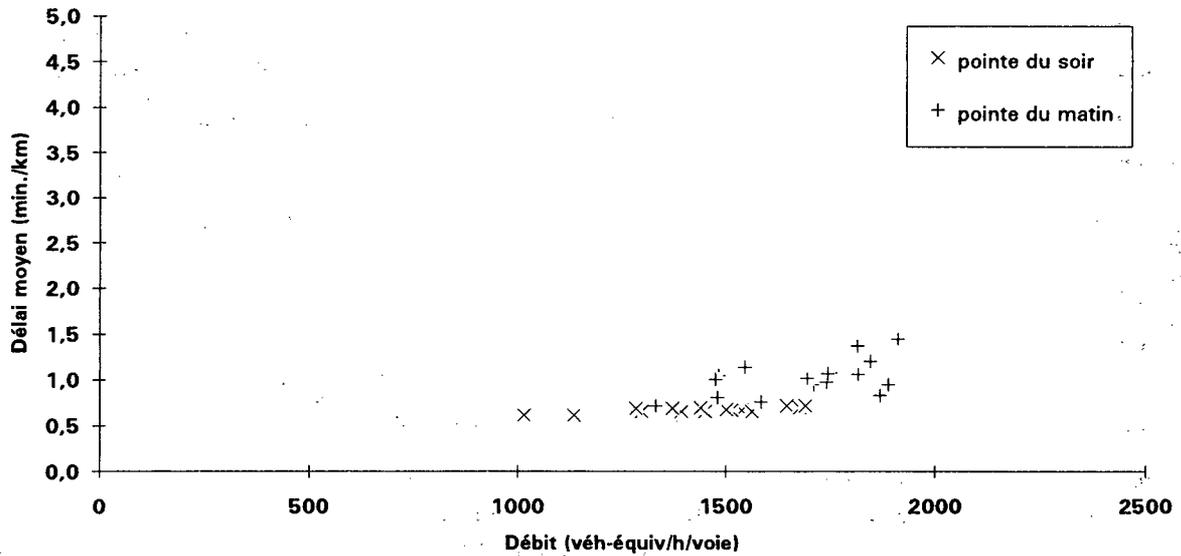
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre la sortie pour Christophe-Colomb
et l'entrée de St-Hubert pour A40 (tronçon 10)



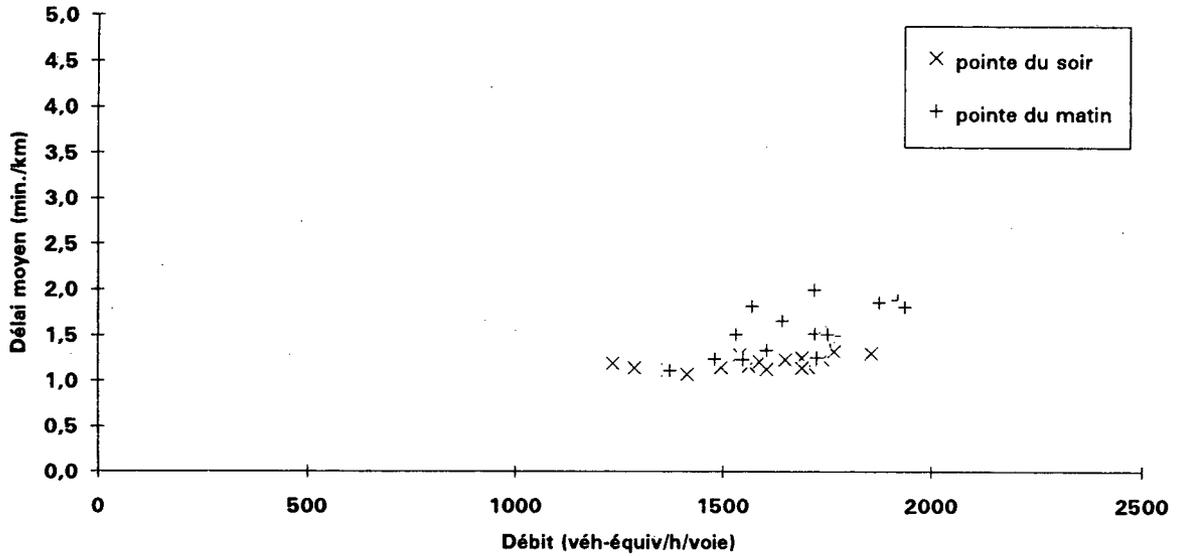
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de St-Hubert pour A40 et
la sortie pour l'Acadie (tronçon 11)



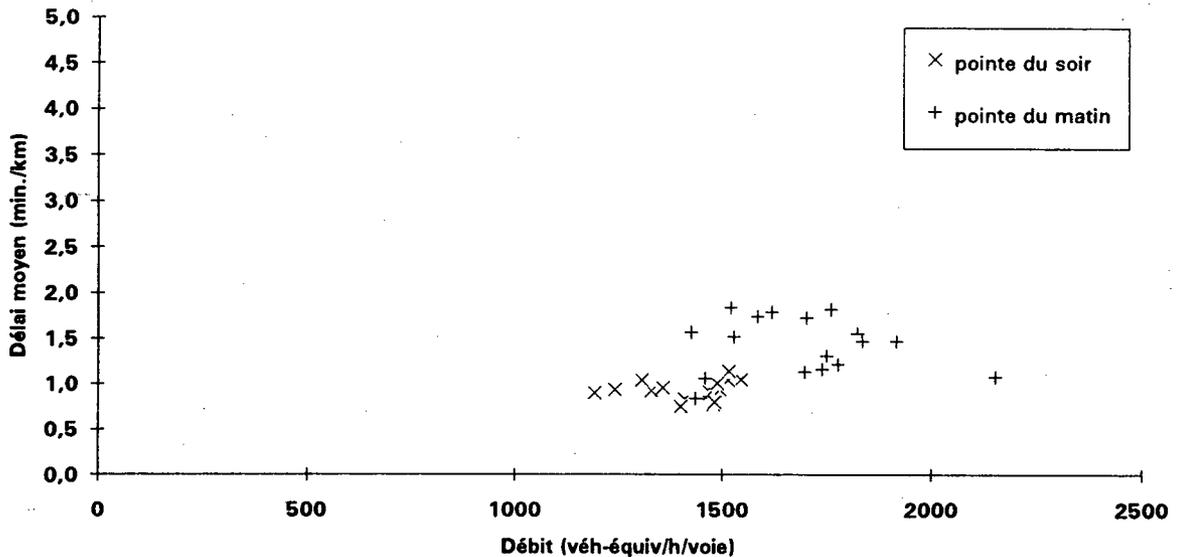
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre la sortie pour l'Acadie et l'entrée
de l'Acadie pour A40 (tronçon 12)



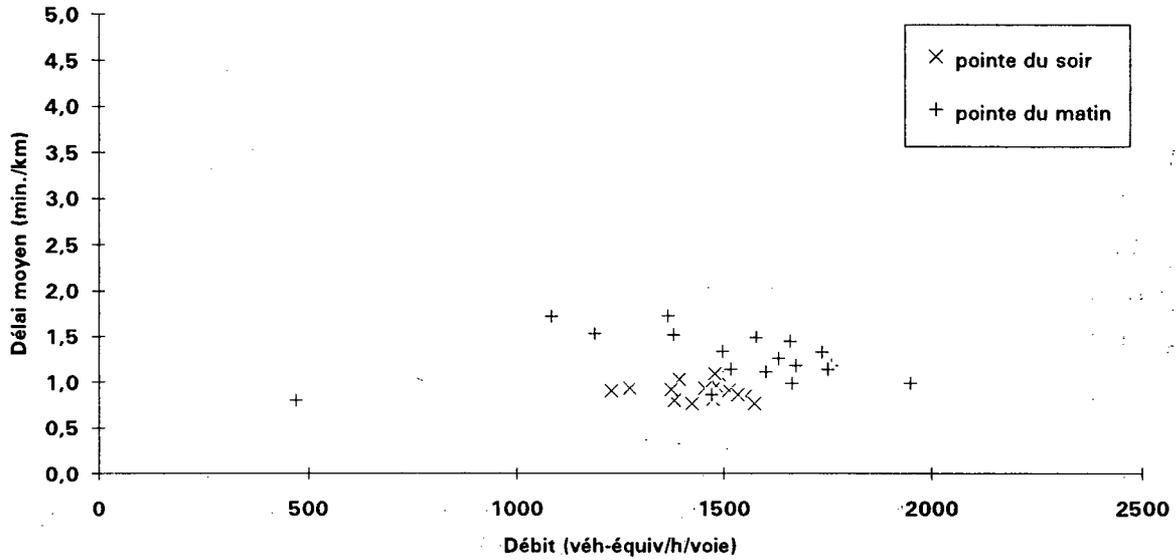
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de l'Acadie pour A40 et
l'autoroute des Laurentides (tronçon 13)



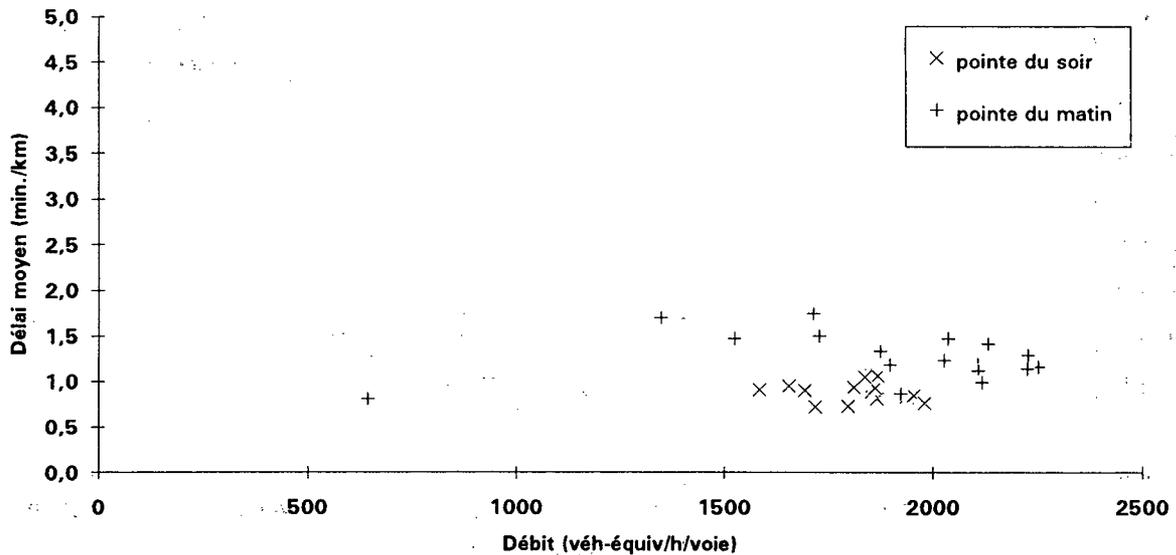
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'autoroute des Laurentides et
l'entrée de Stinson pour A40 (tronçon 14)



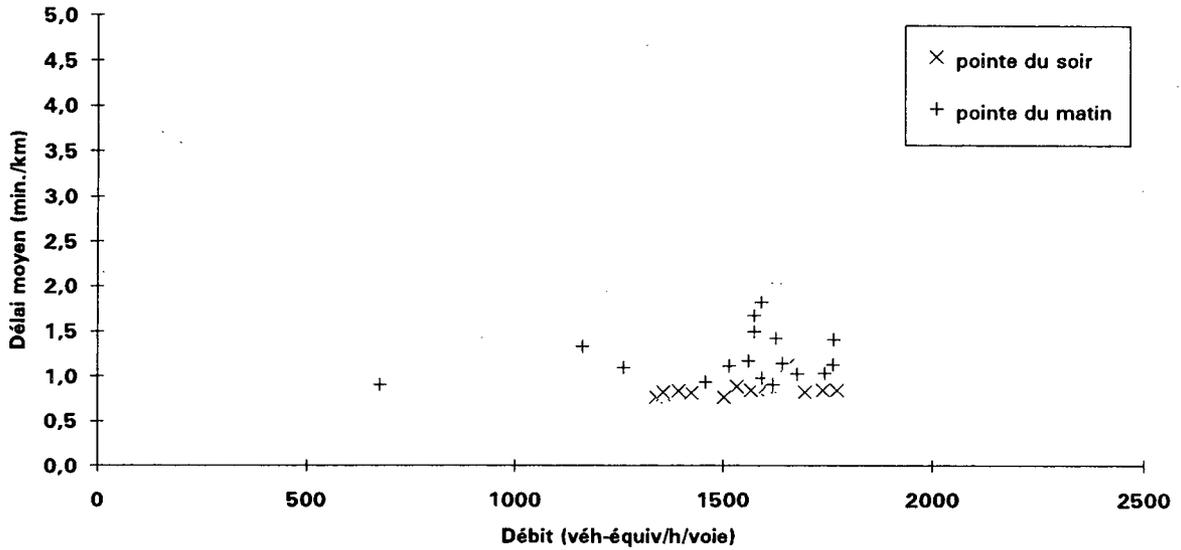
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
 A40 direction Ouest - entre l'entrée de Stinson pour A40 et la
 sortie pour Décarie nord (tronçon 15)



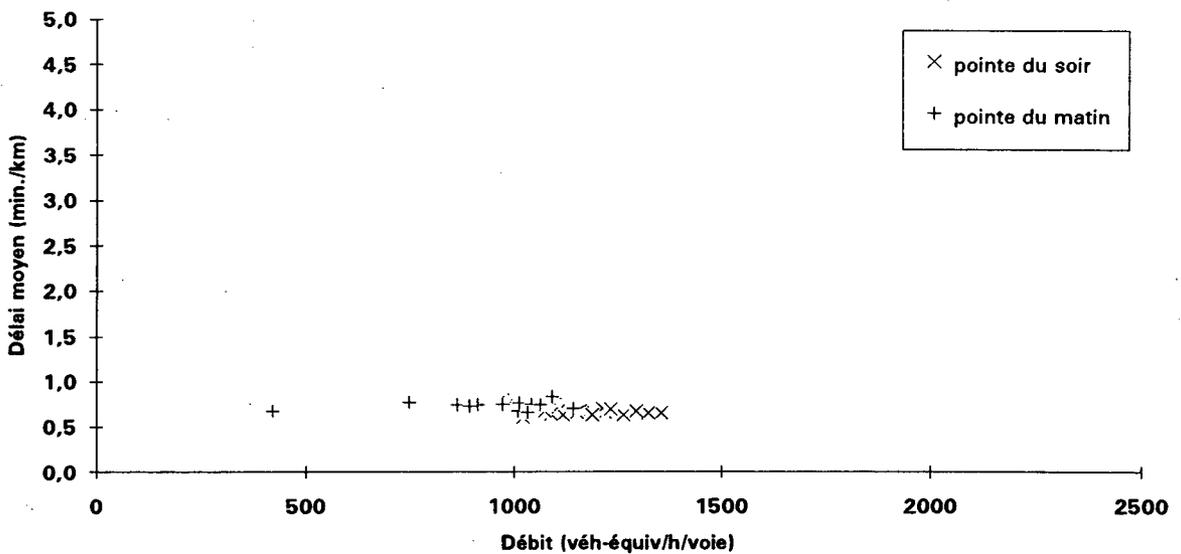
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
 A40 direction Ouest - entre la sortie pour Décarie nord et
 l'autoroute Décarie (tronçon 16)



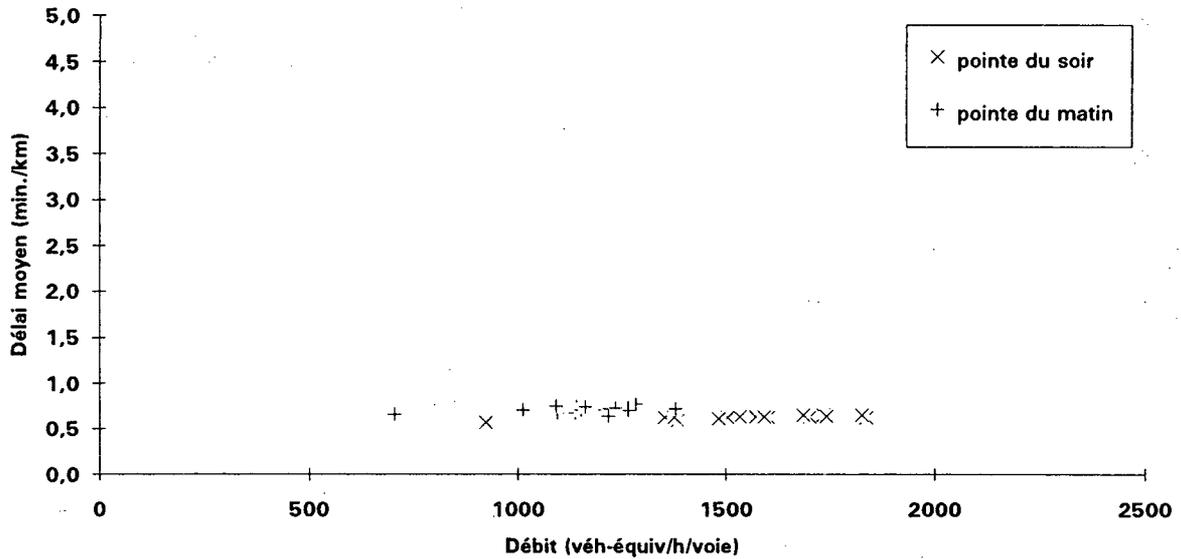
**Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'autoroute Décarie et la sortie
pour Côte-de-Liesse (tronçon 17)**



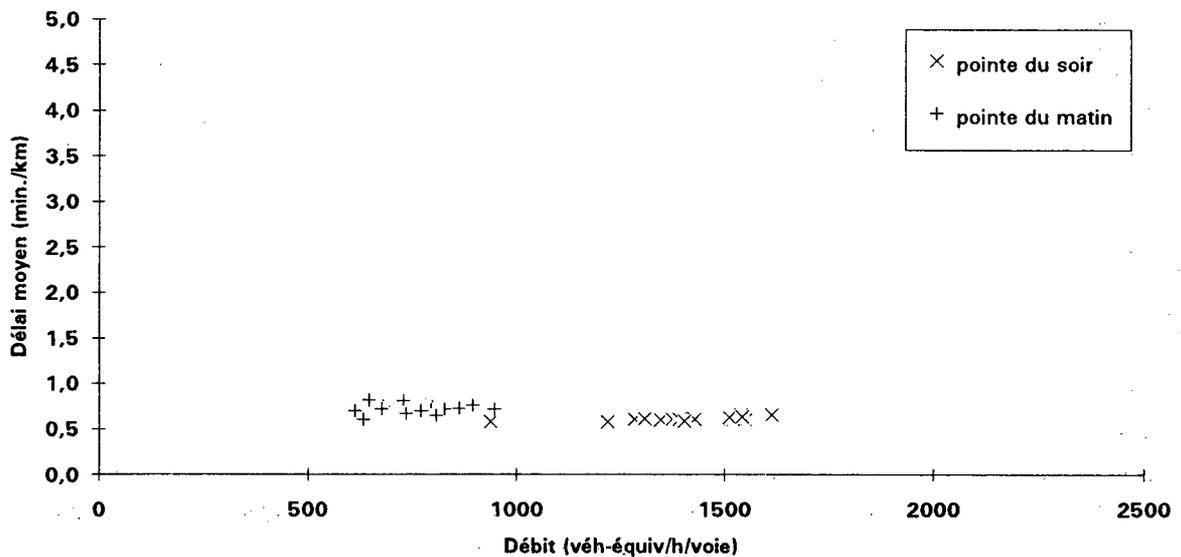
**Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre la sortie pour Côte-de-Liesse et
l'entrée de Côte-de-Liesse pour A40 (tronçon 18)**



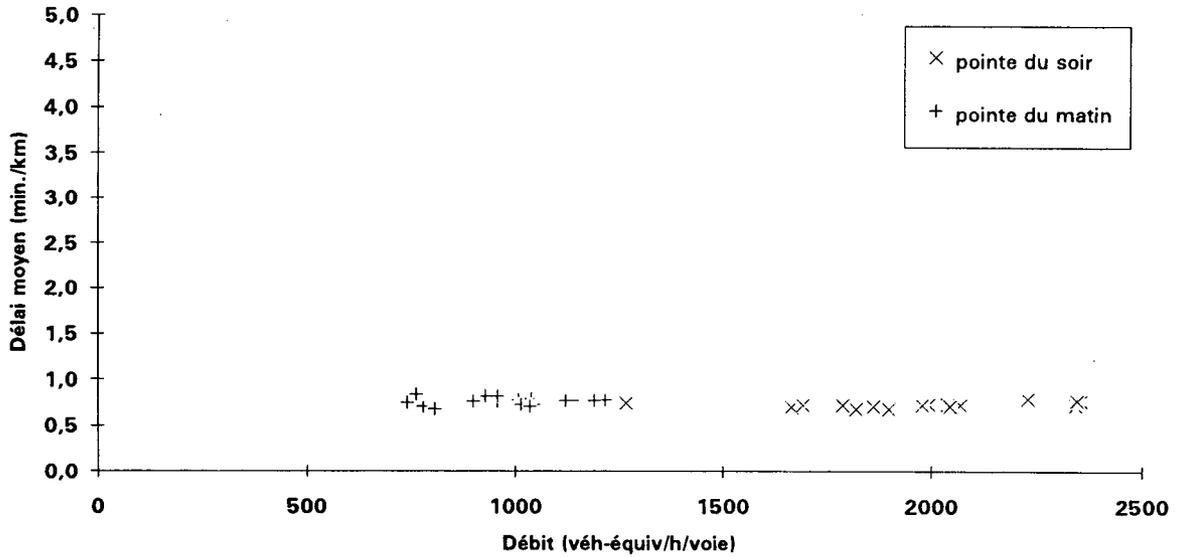
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de Côte-de-Liesse pour
A40 et la sortie pour Côte-Vertu (tronçon 19)



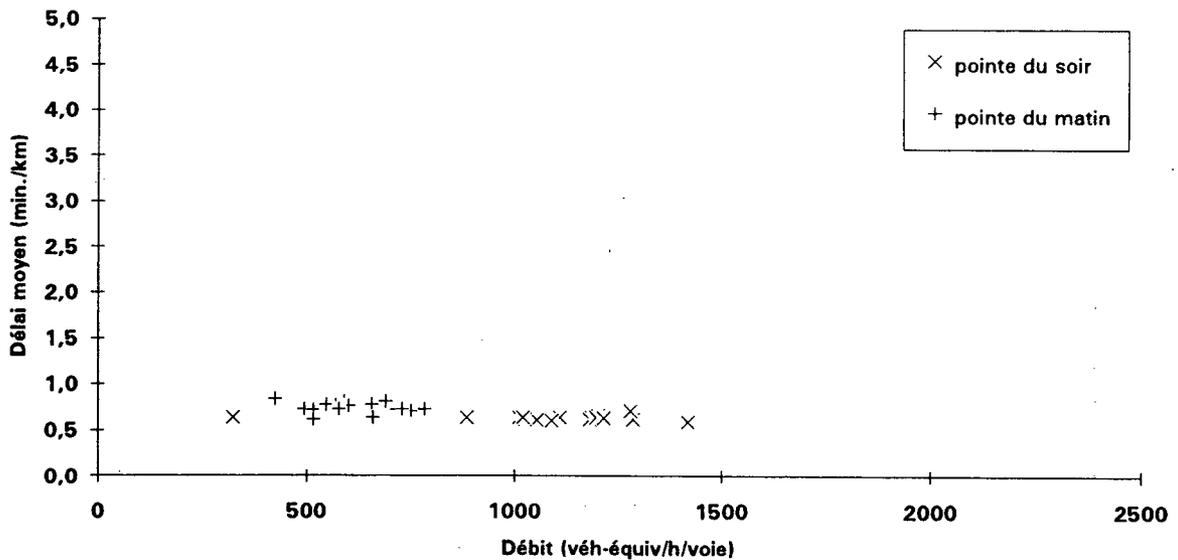
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre la sortie pour Côte-Vertu et
l'entrée de Côte-Vertu pour A40 (tronçon 20)



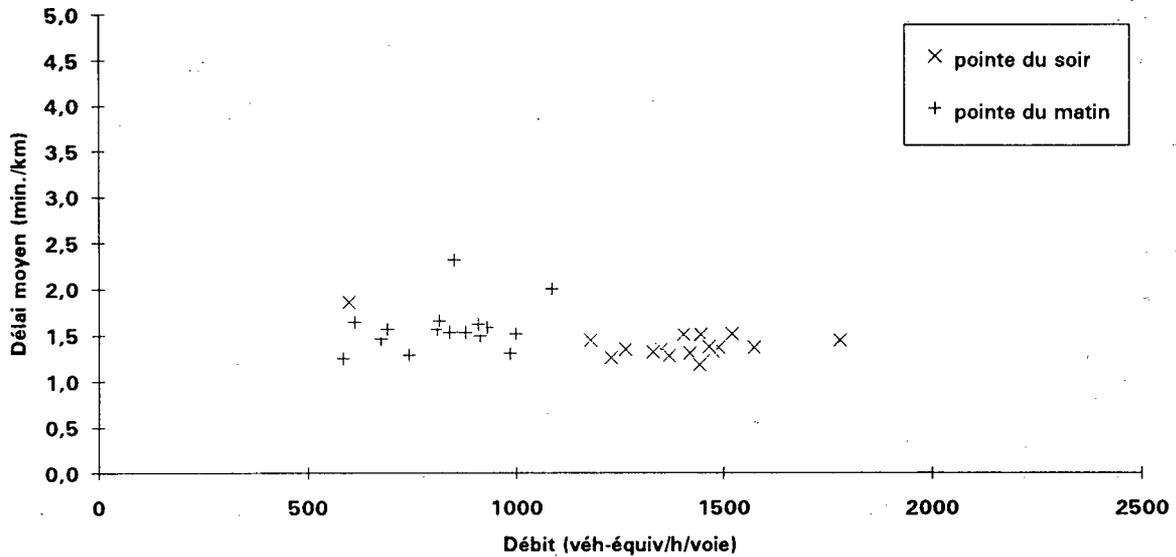
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre l'entrée de Côte-Vertu pour A40
et la sortie pour l'autoroute A13 nord (tronçon 21)



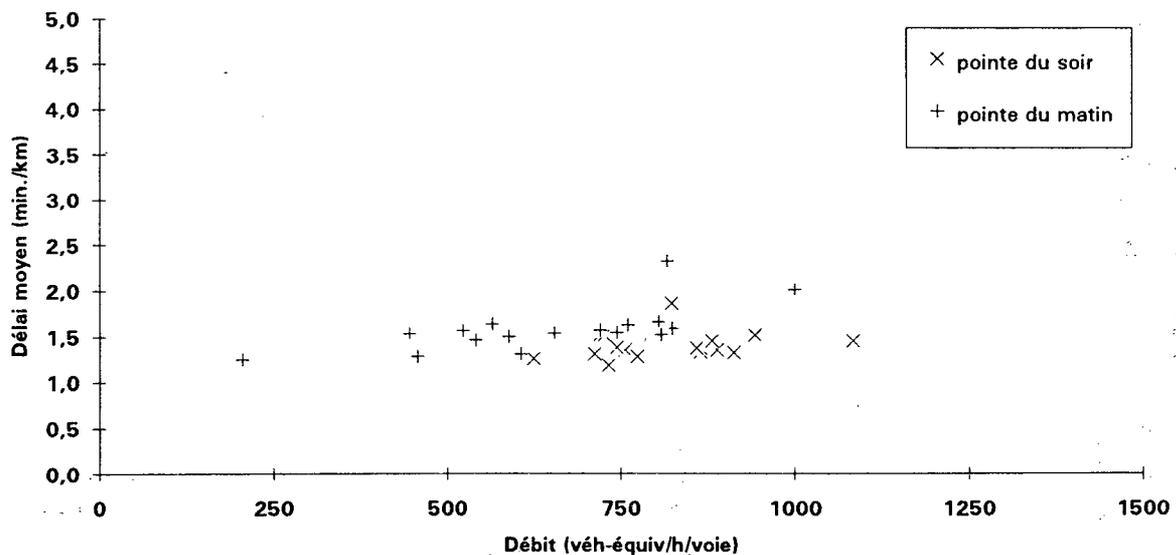
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
A40 direction Ouest - entre la sortie pour l'autoroute A13
nord et l'entrée de l'autoroute A13 pour A40 (tronçon 22)



Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
 A40 direction Ouest - entre l'entrée de l'autoroute A13 pour
 A40 et l'autoroute A13 (tronçon 23)



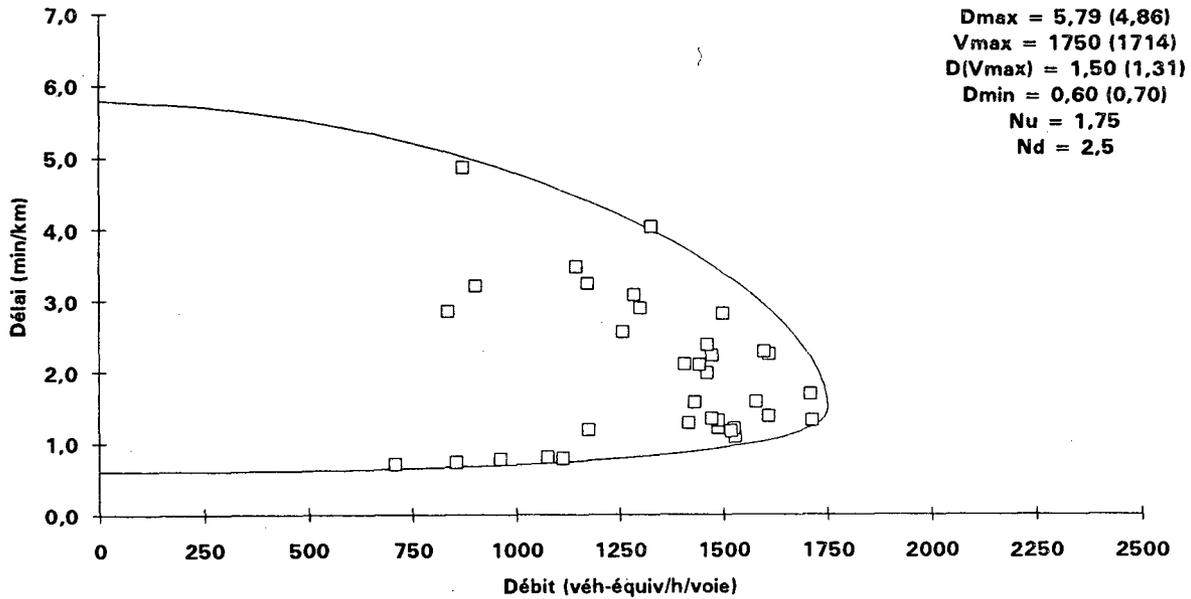
Couples Délai / Débit en périodes de pointe 1991
 A40 direction Ouest - Rampe d'accès à partir de l'autoroute
 A13 sud (tronçon 23 - tronçon 22)



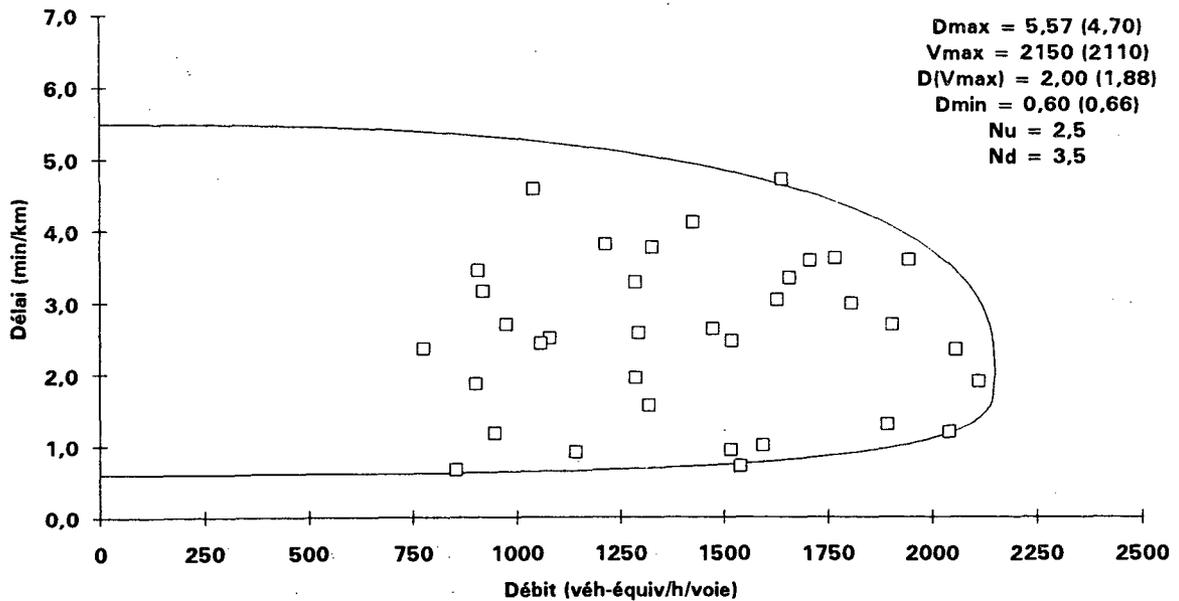
ANNEXE B

**ESTIMATION DES PARAMÈTRES DE LA RELATION DÉLAI/DÉBIT
POUR CHAQUE TRONÇON DE MÉTROPOLITAINE EST
ET DE MÉTROPOLITAINE OUEST**

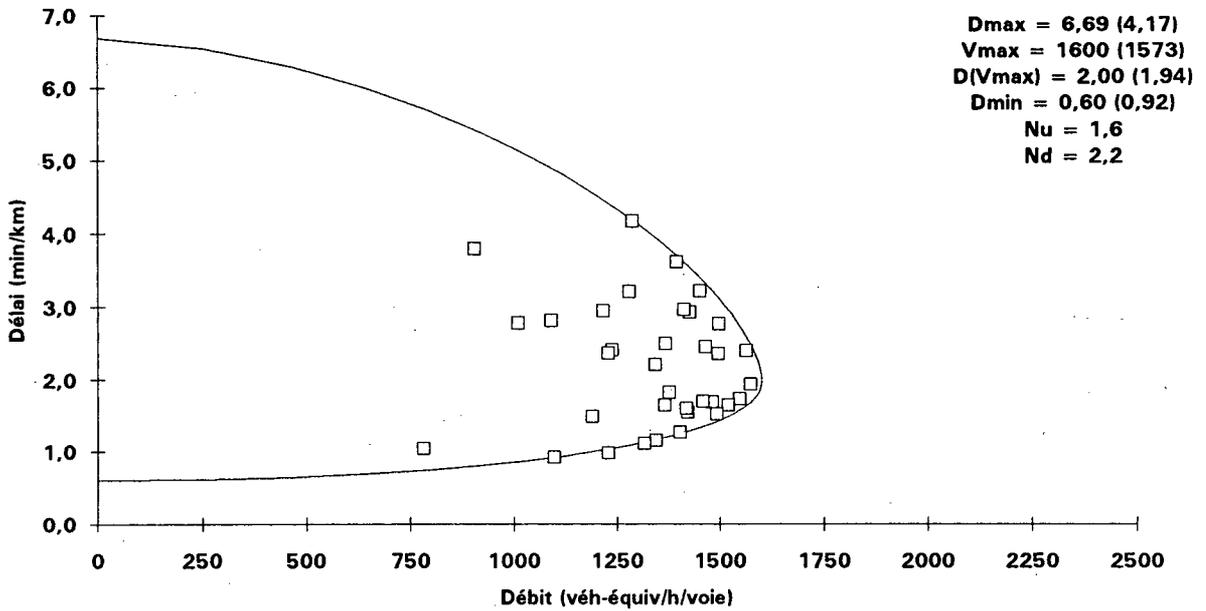
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 11 de la Métropolitaine A40 direction Est



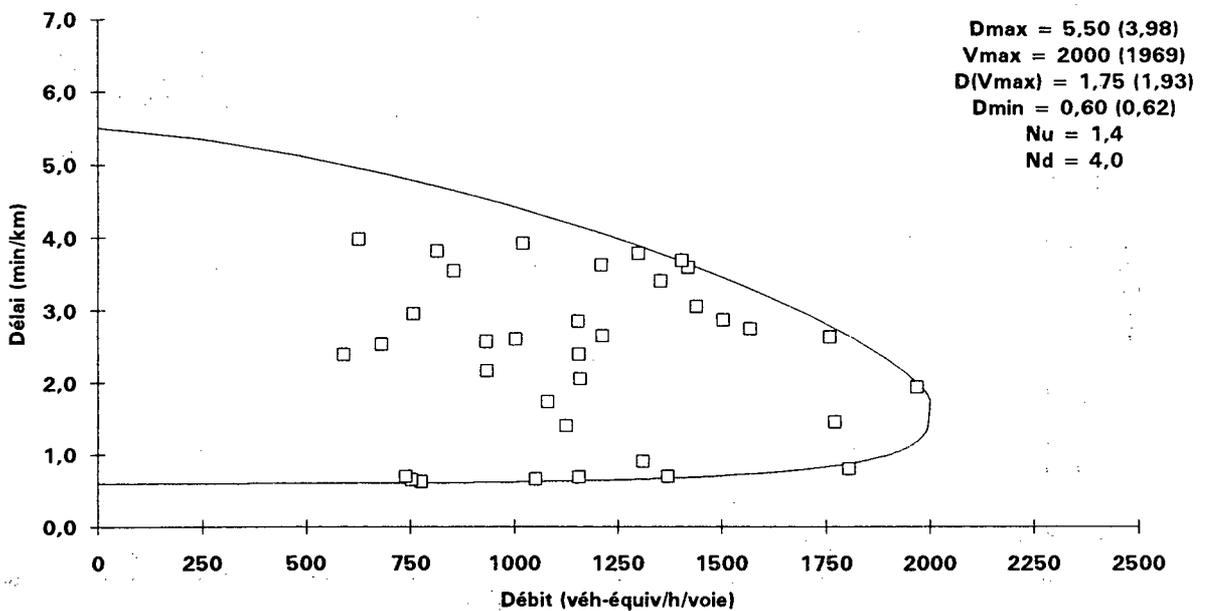
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 6 de la Métropolitaine A40 direction Est



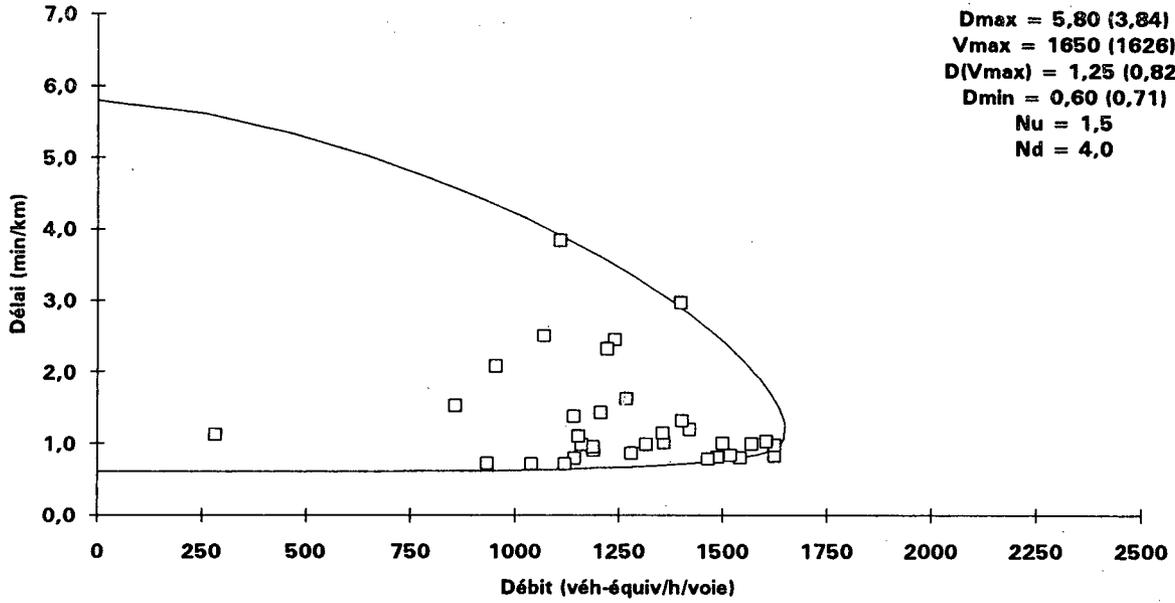
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 12 de la Métropolitaine A40 direction Est



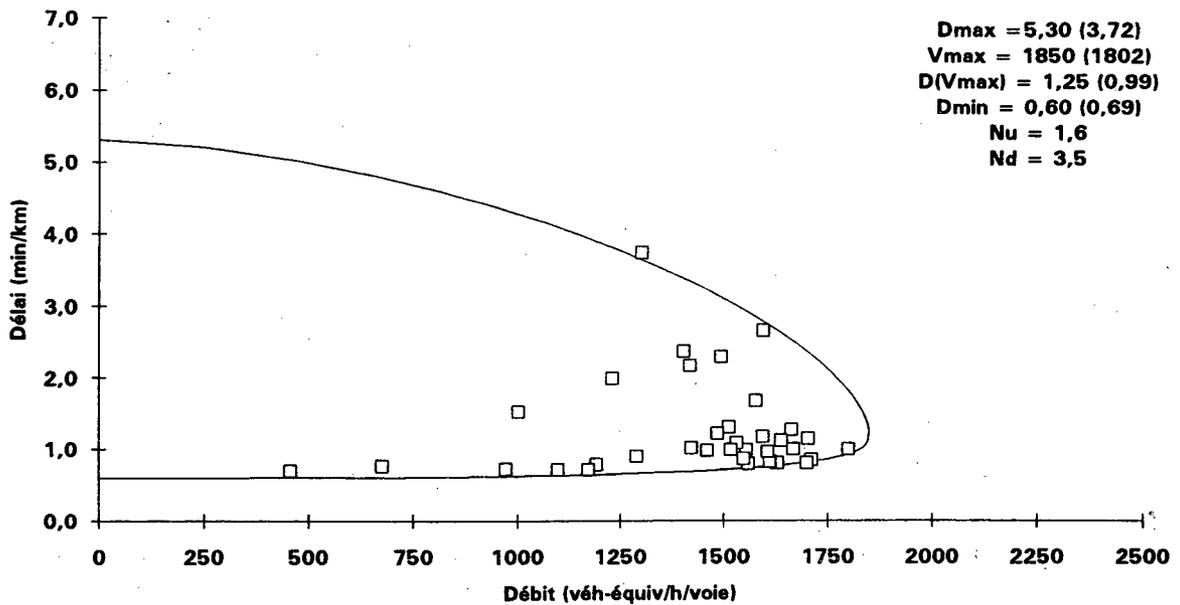
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 5 de la Métropolitaine A40 direction Est



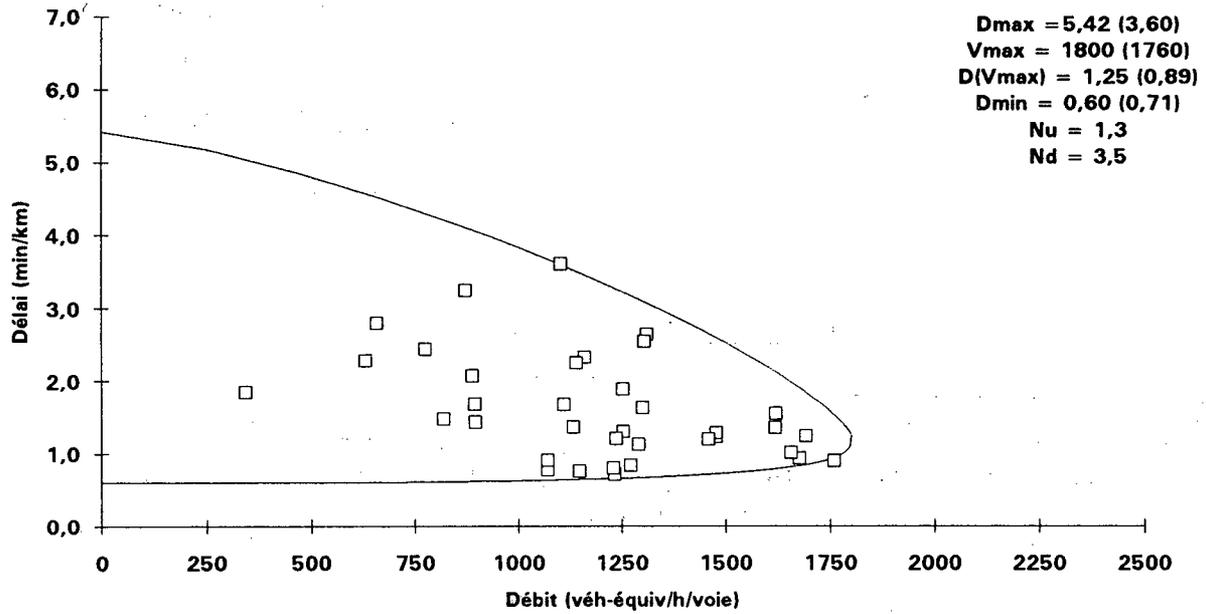
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 8 de la Métropolitaine A40 direction Est



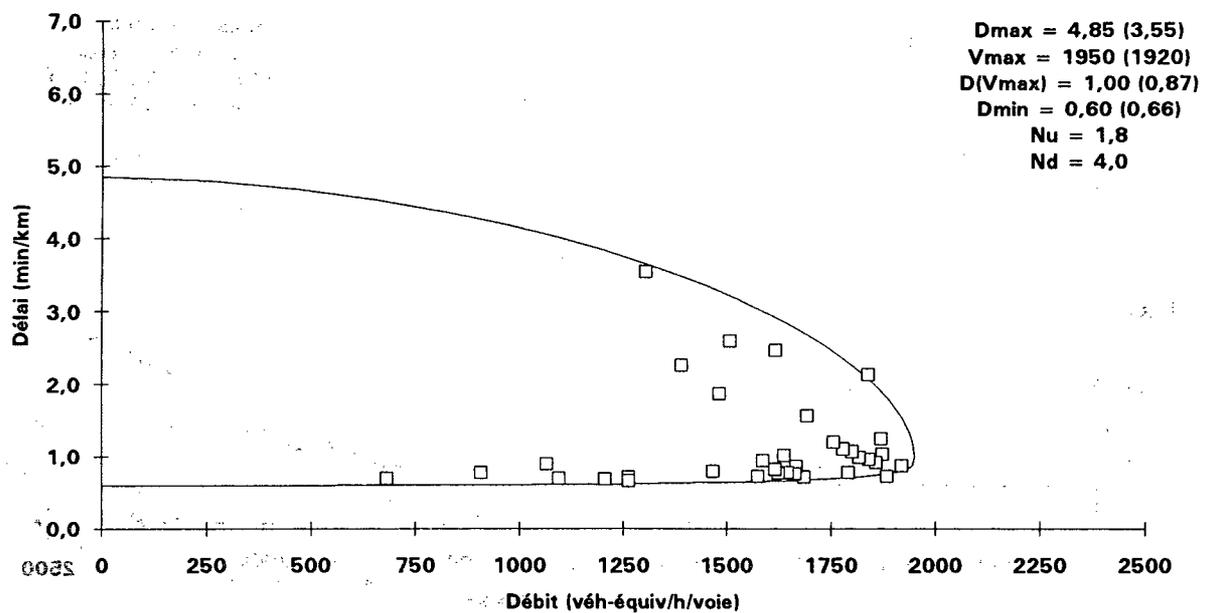
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 9 de la Métropolitaine A40 direction Est



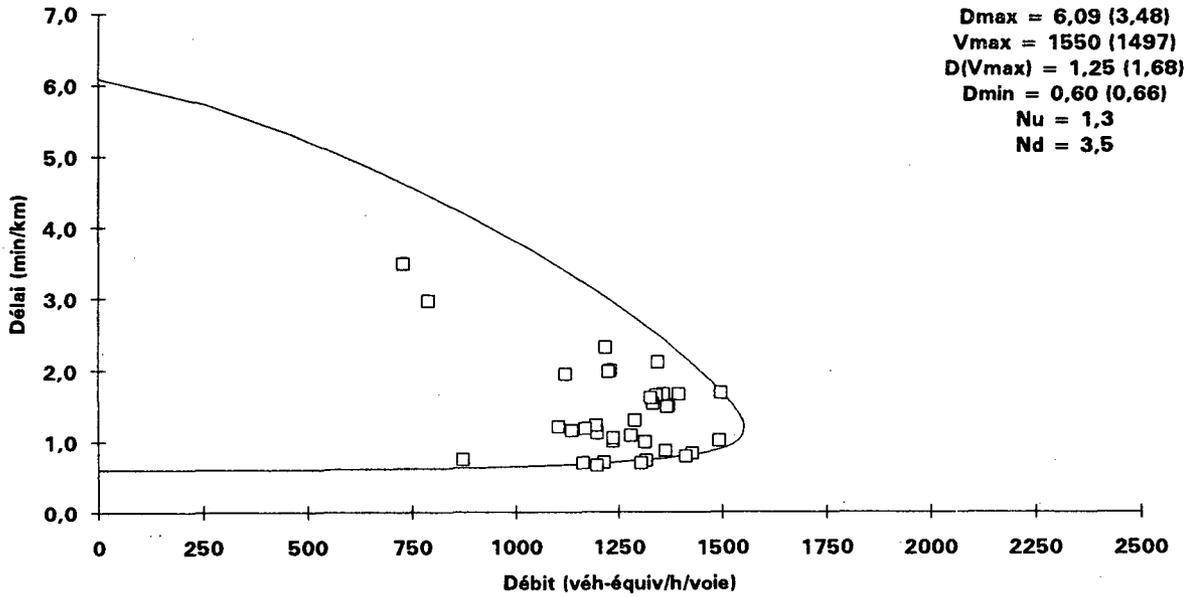
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 7 de la Métropolitaine A40 direction Est



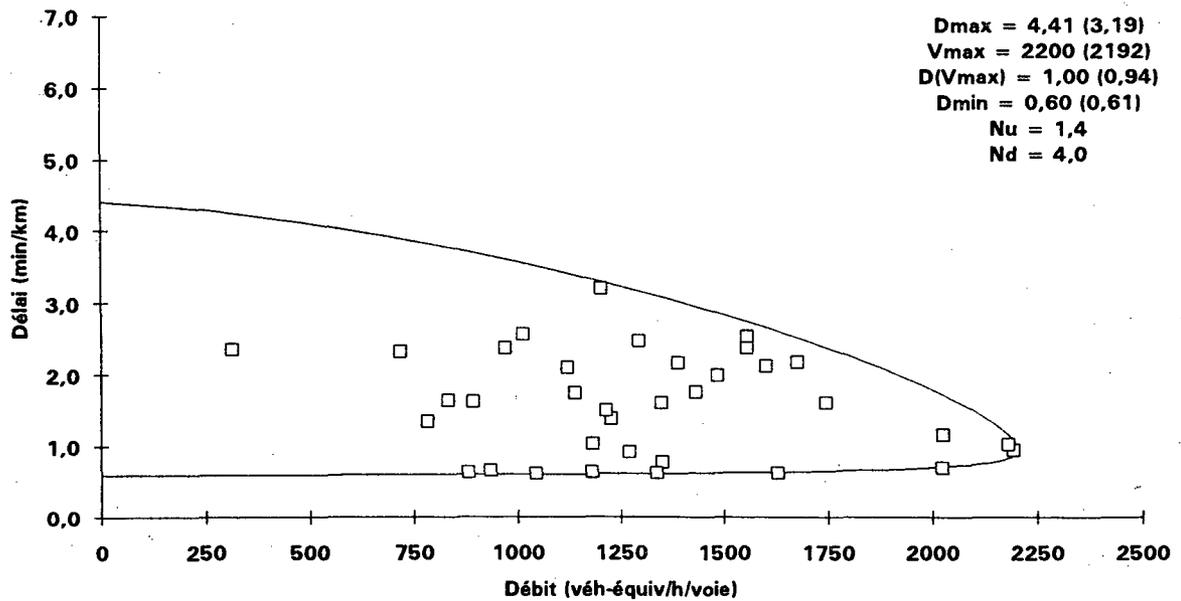
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 10 de la Métropolitaine A40 direction Est



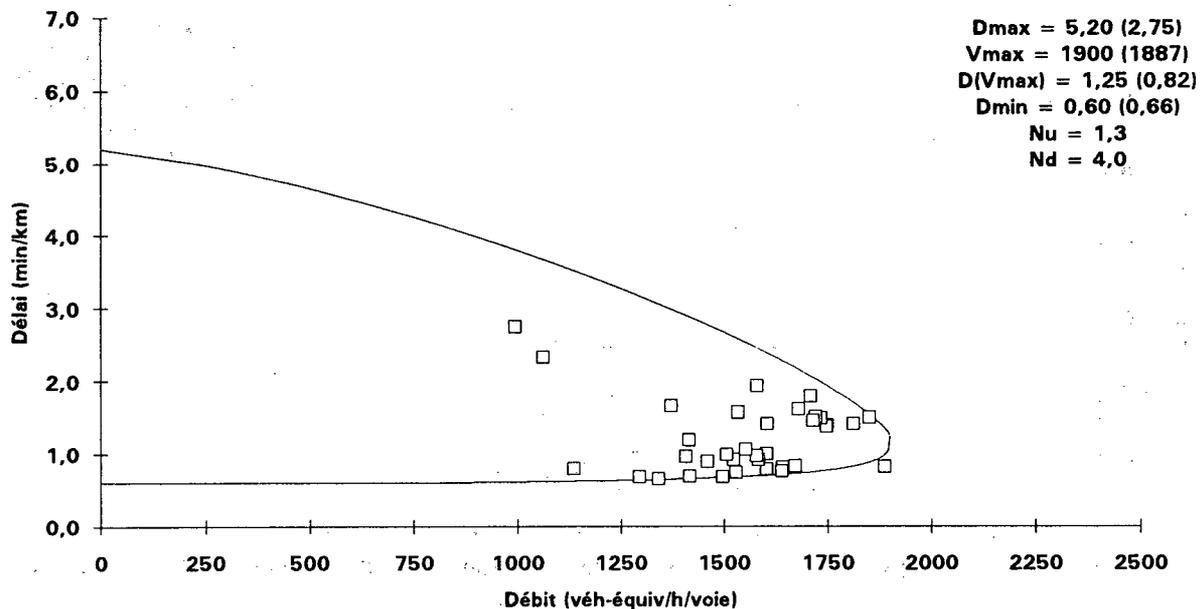
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 13 de la Métropolitaine A40 direction Est



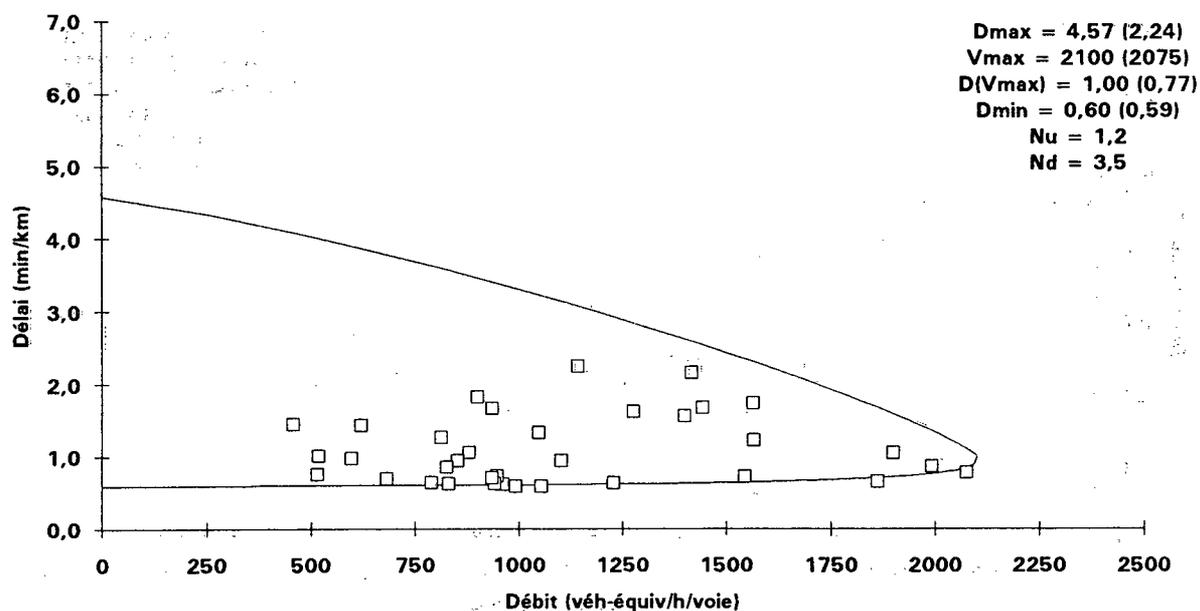
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 4 de la Métropolitaine A40 direction Est



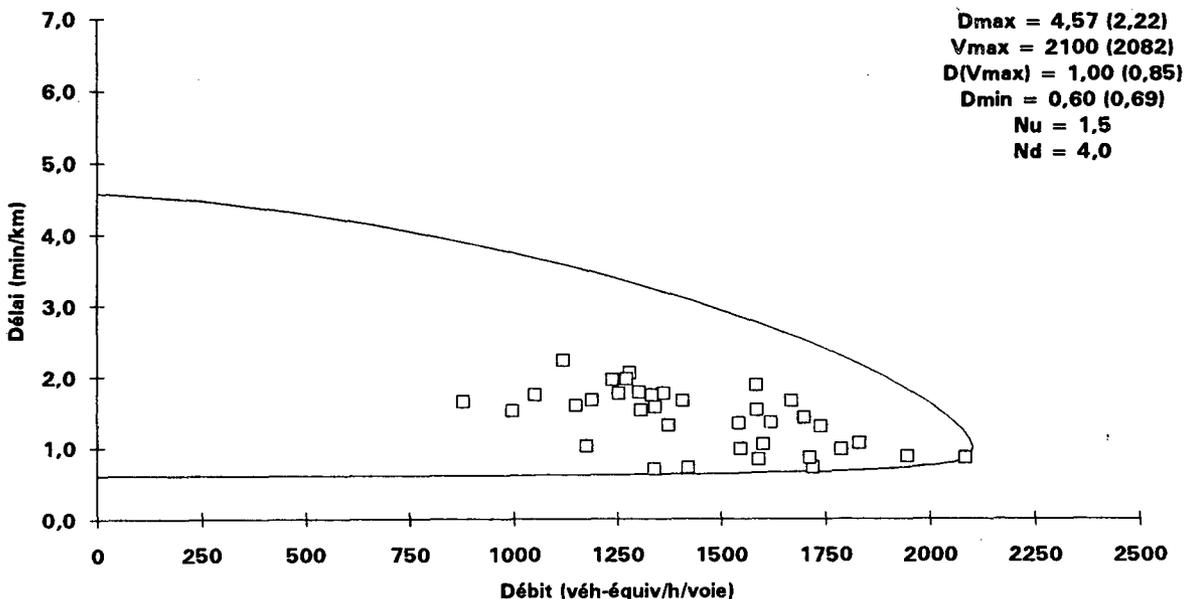
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 14 de la Métropolitaine A40 direction Est



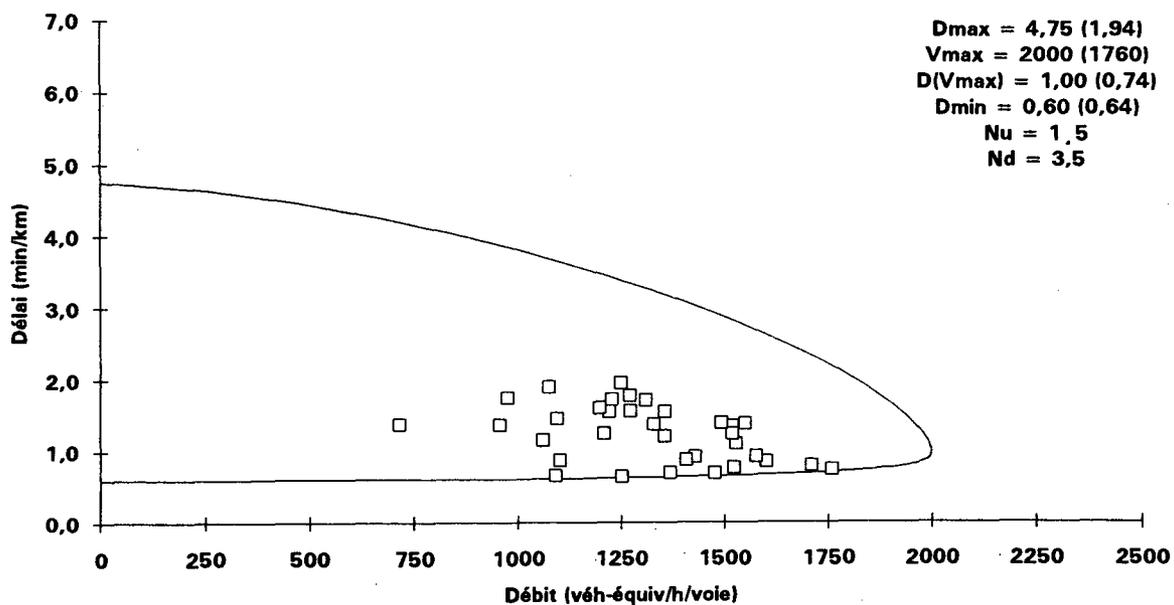
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 3 de la Métropolitaine A40 direction Est



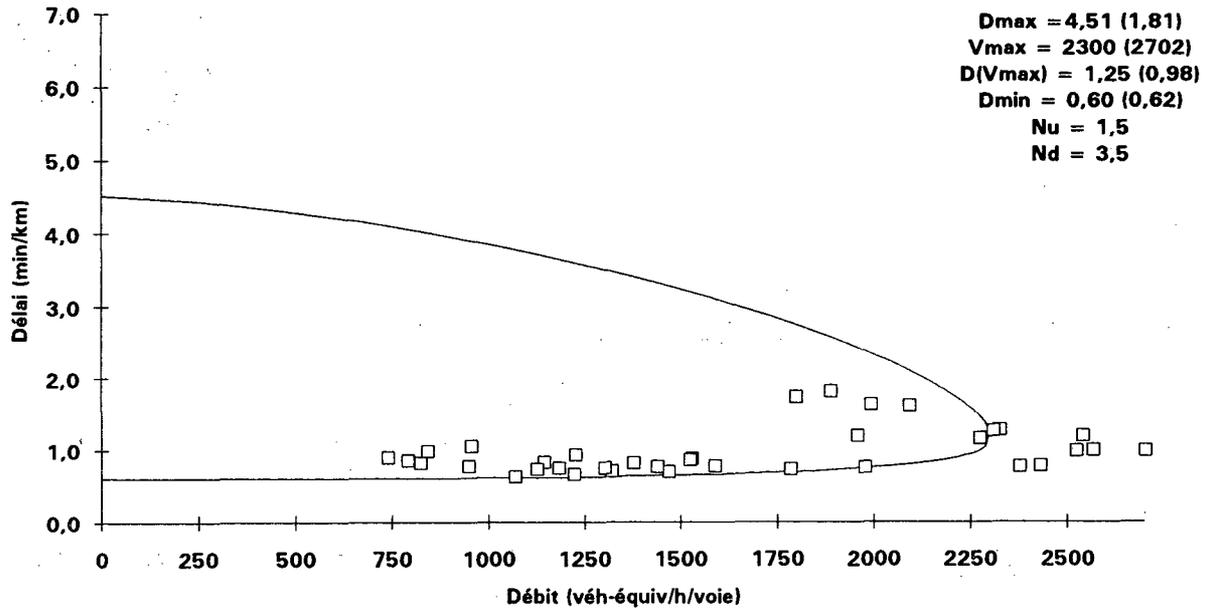
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 23 de la Métropolitaine A40 direction Est



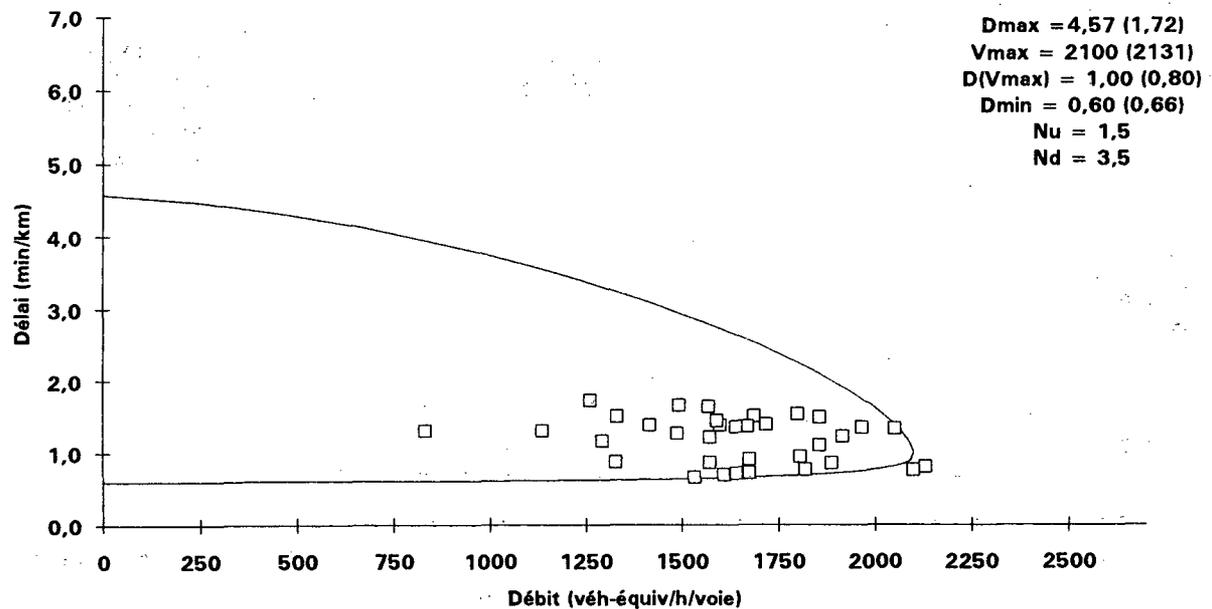
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 22 de la Métropolitaine A40 direction Est



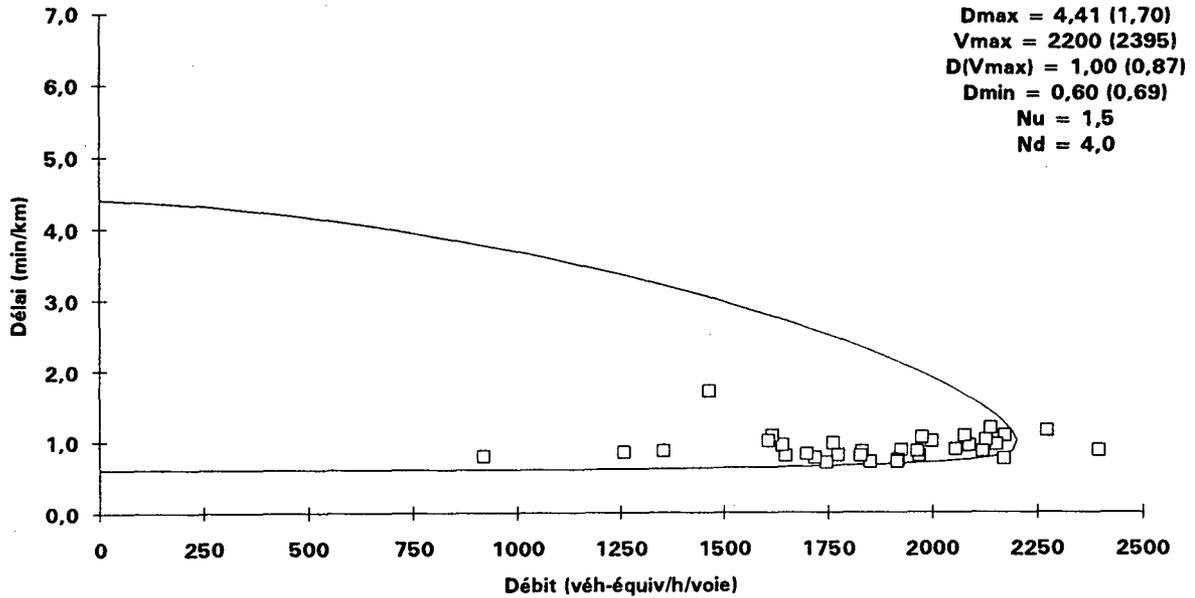
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 2 de la Métropolitaine A40 direction Est



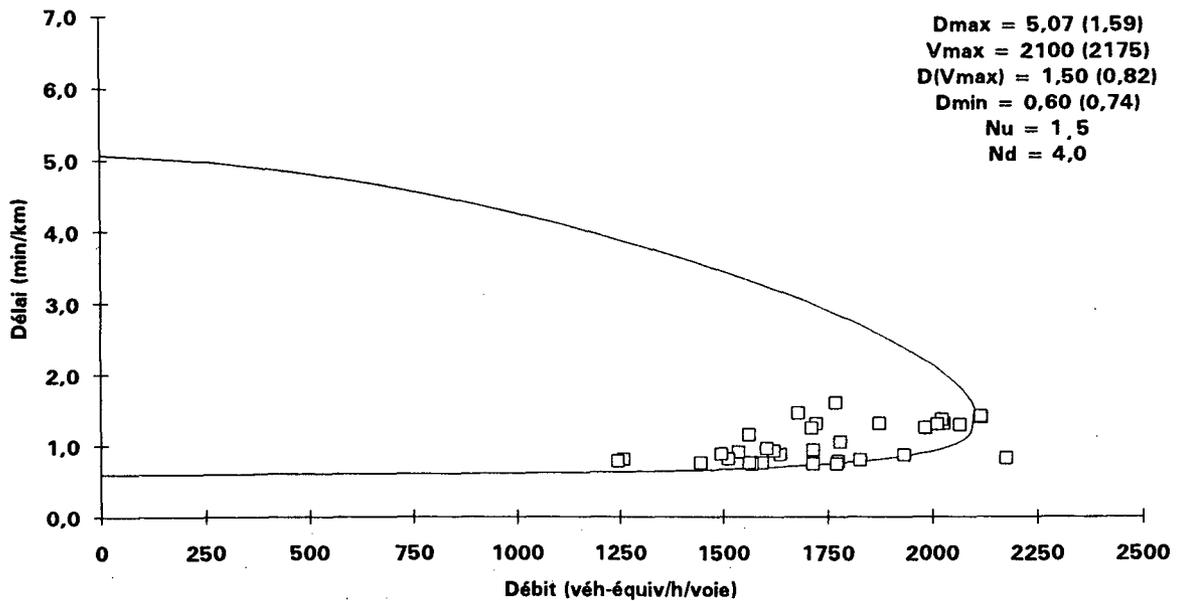
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 21 de la Métropolitaine A40 direction Est



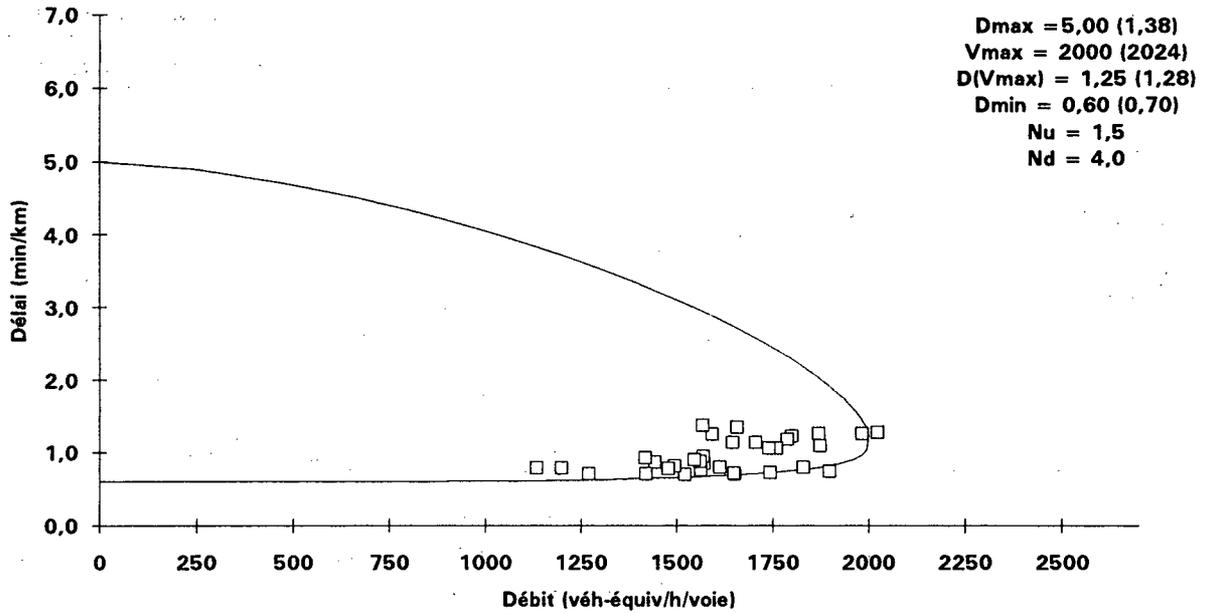
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 18 de la Métropolitaine A40 direction Est



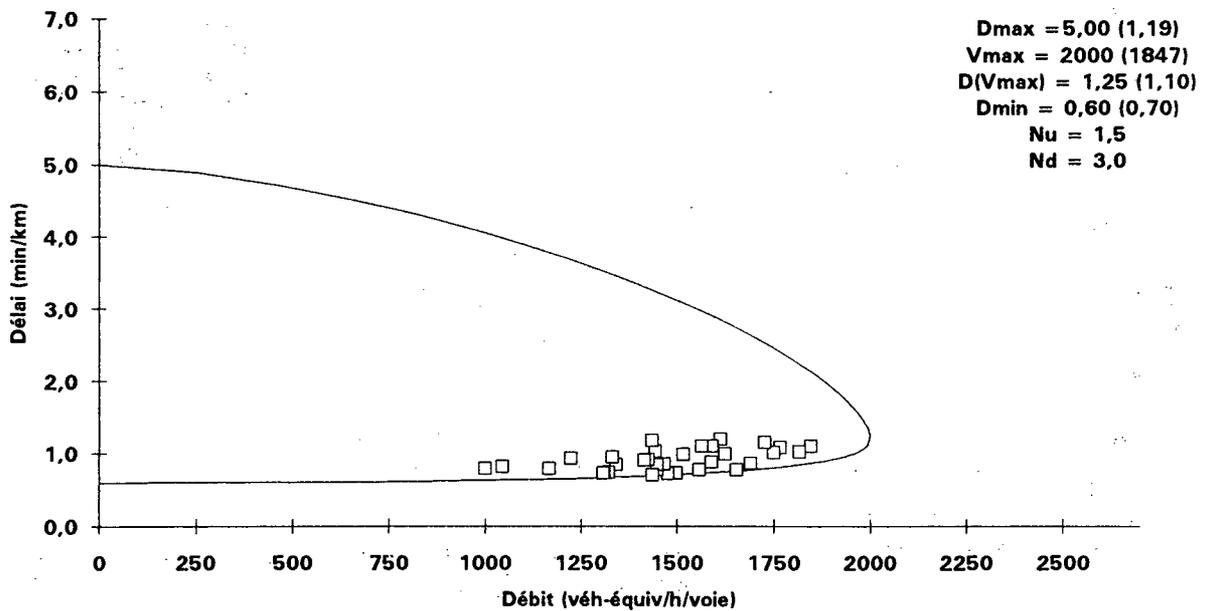
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 15 de la Métropolitaine A40 direction Est



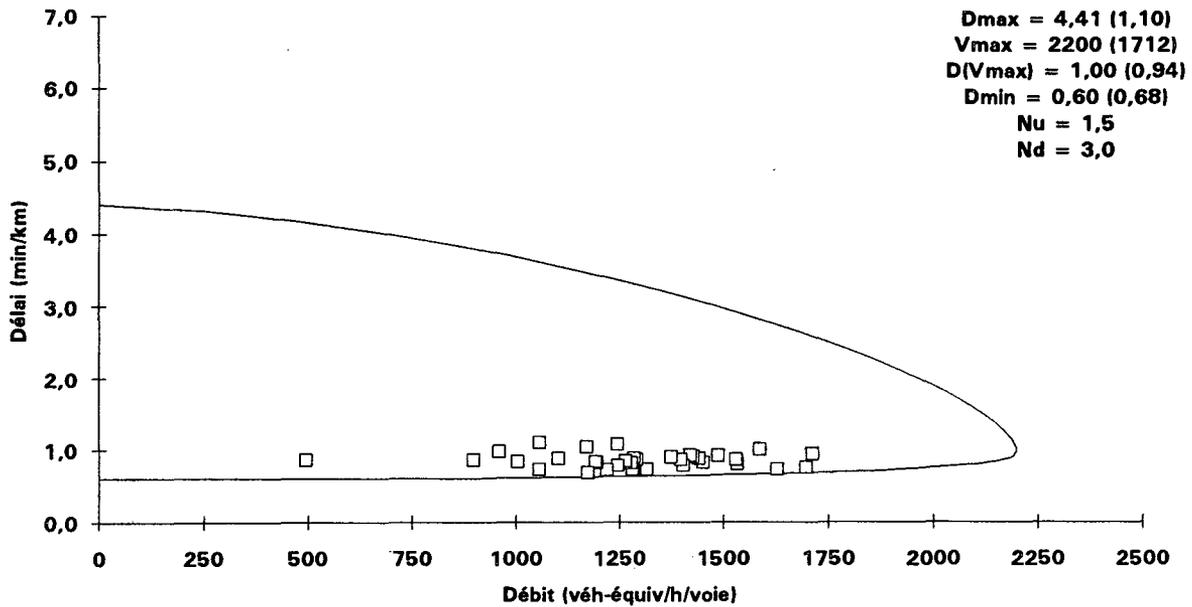
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 16 de la Métropolitaine A40 direction Est



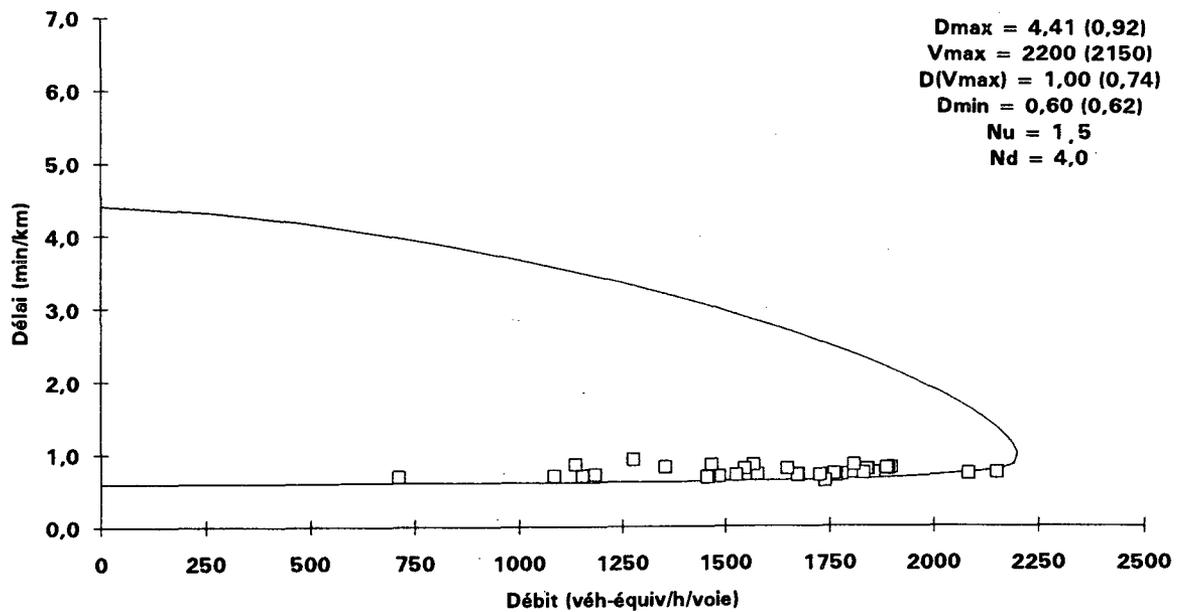
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 17 de la Métropolitaine A40 direction Est



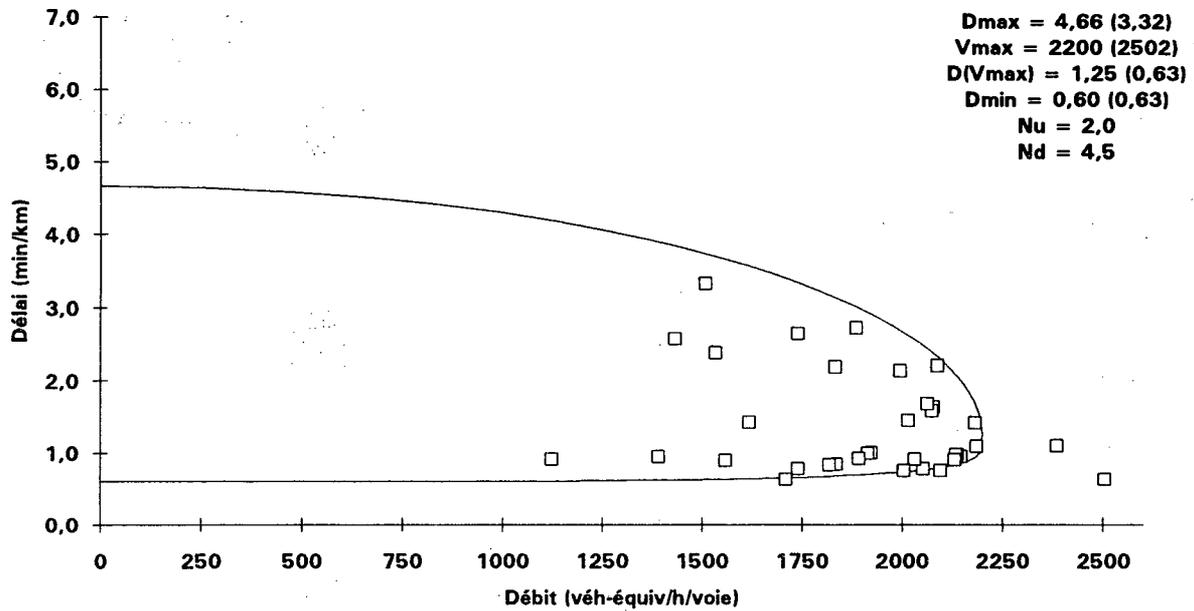
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 20 de la Métropolitaine A40 direction Est



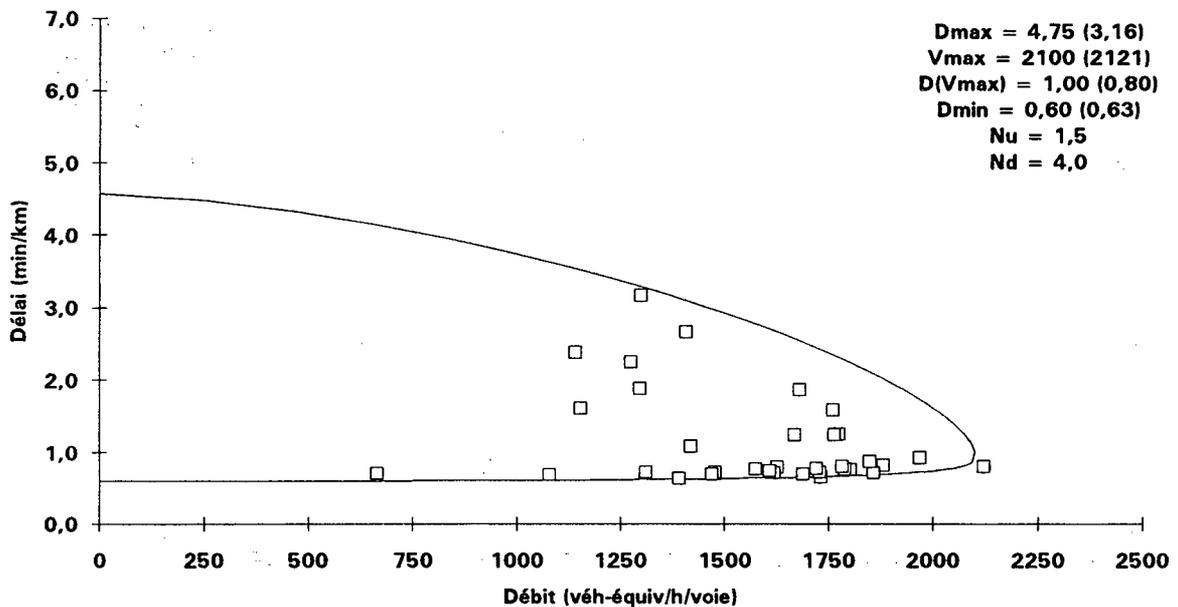
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 19 de la Métropolitaine A40 direction Est



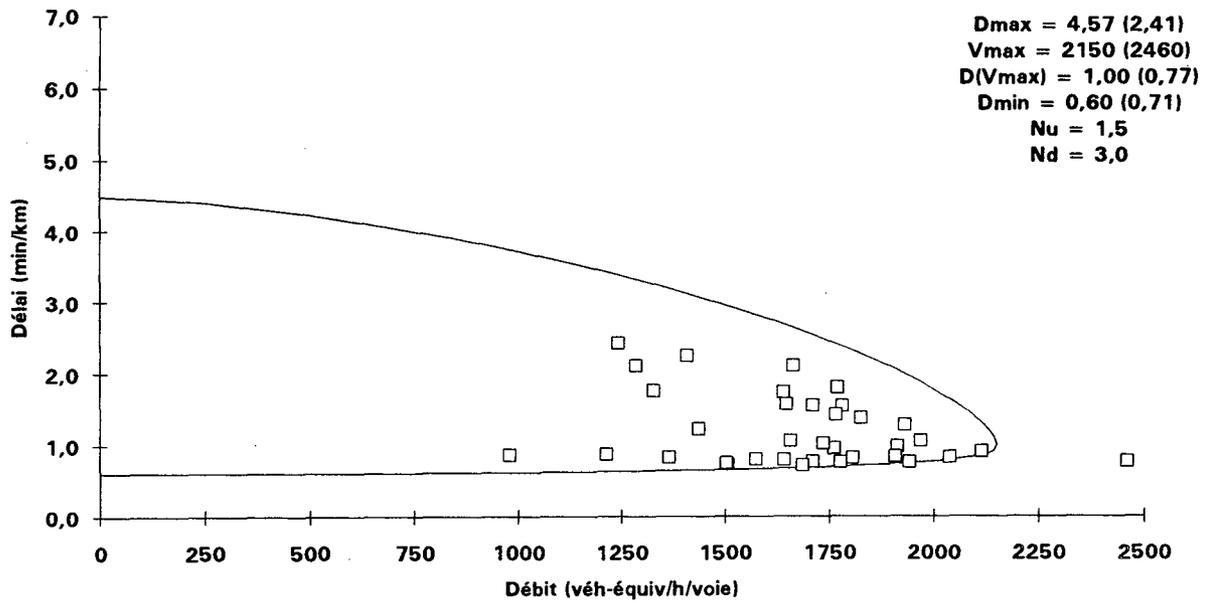
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 6 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



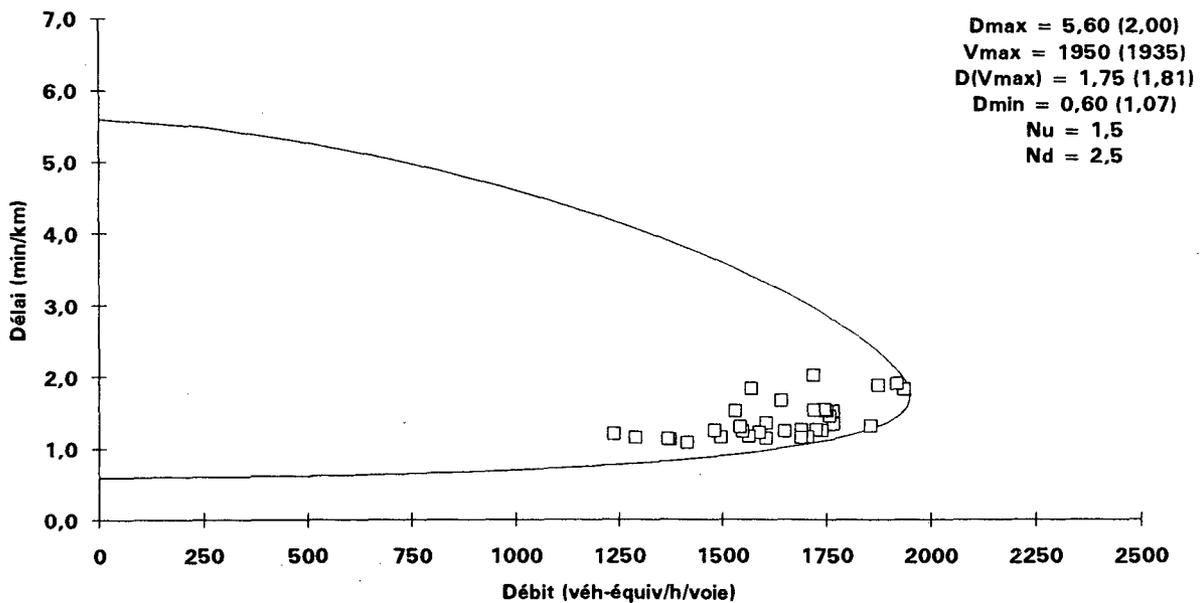
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 5 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



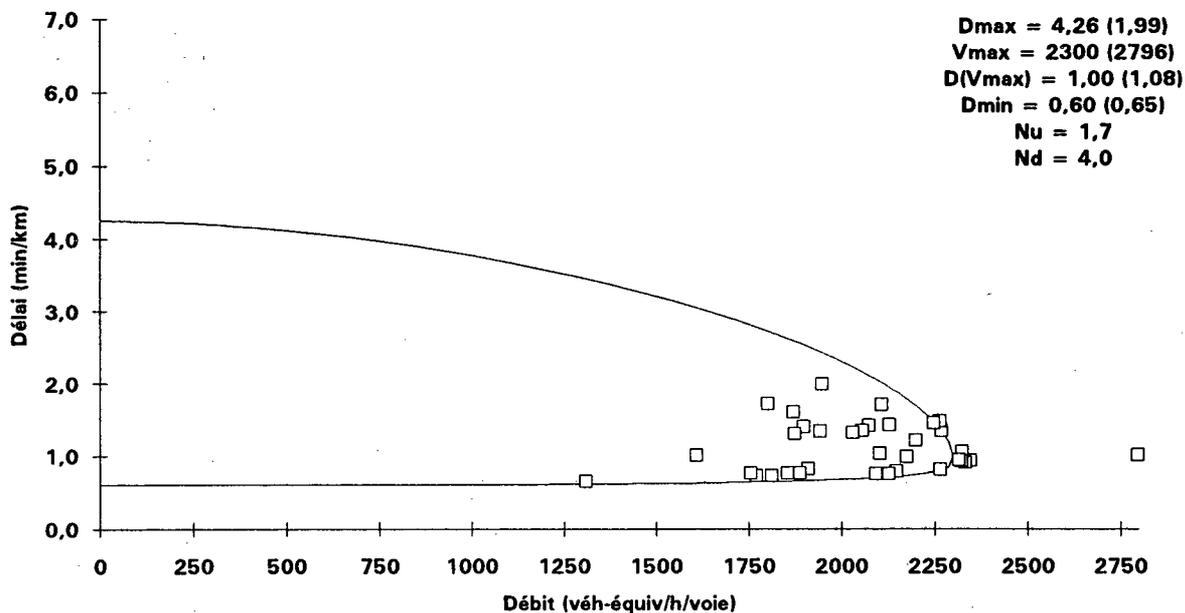
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 7 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



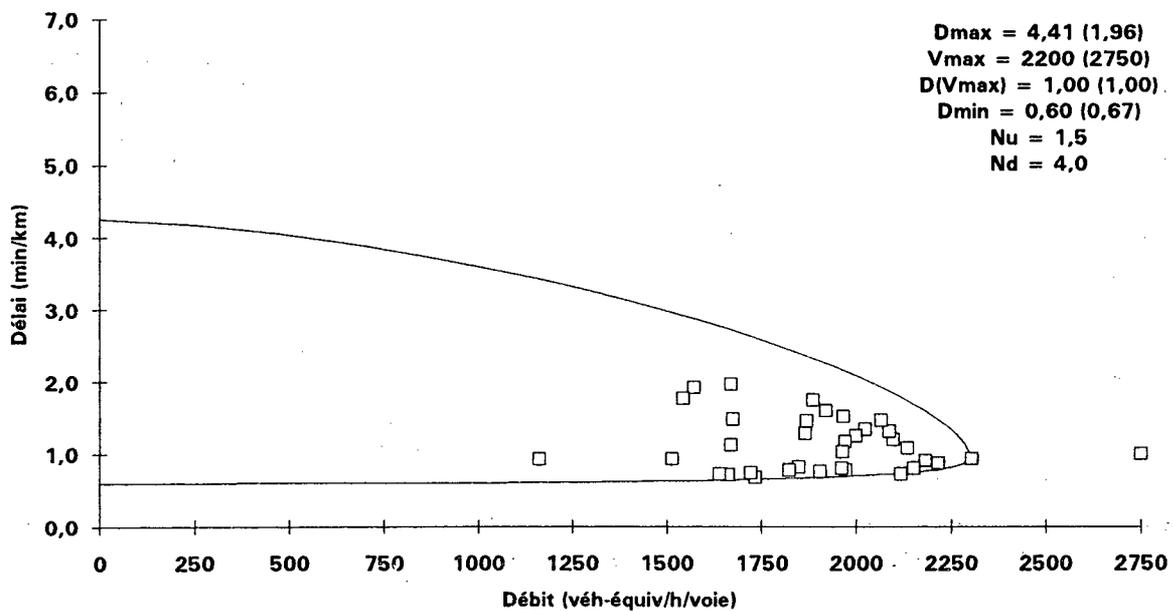
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 13 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



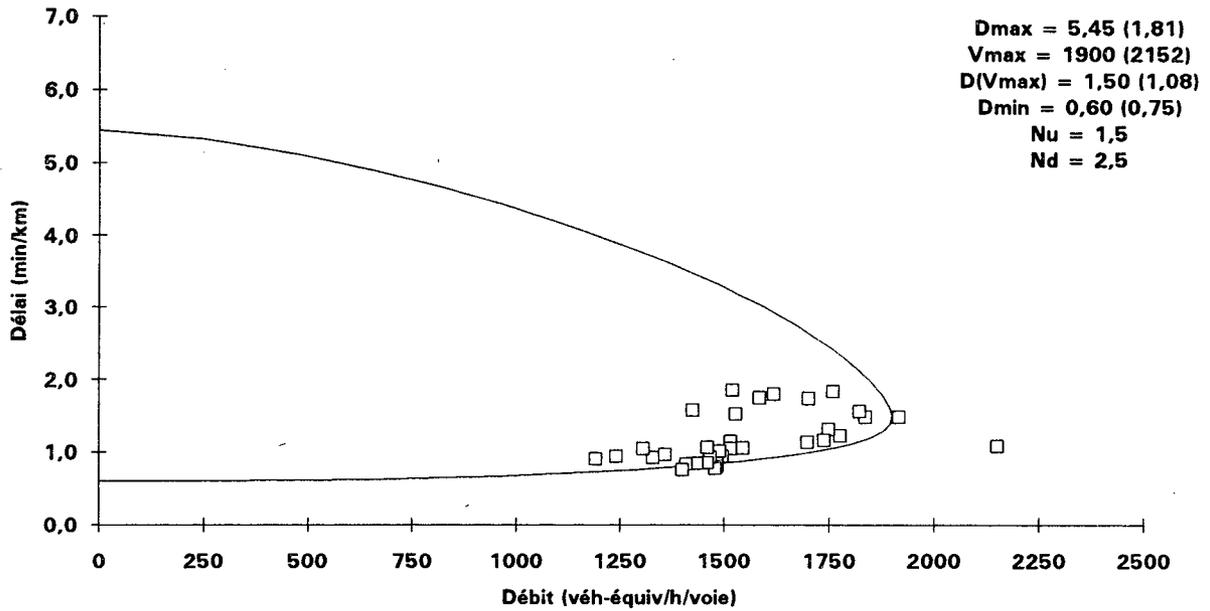
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 9 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



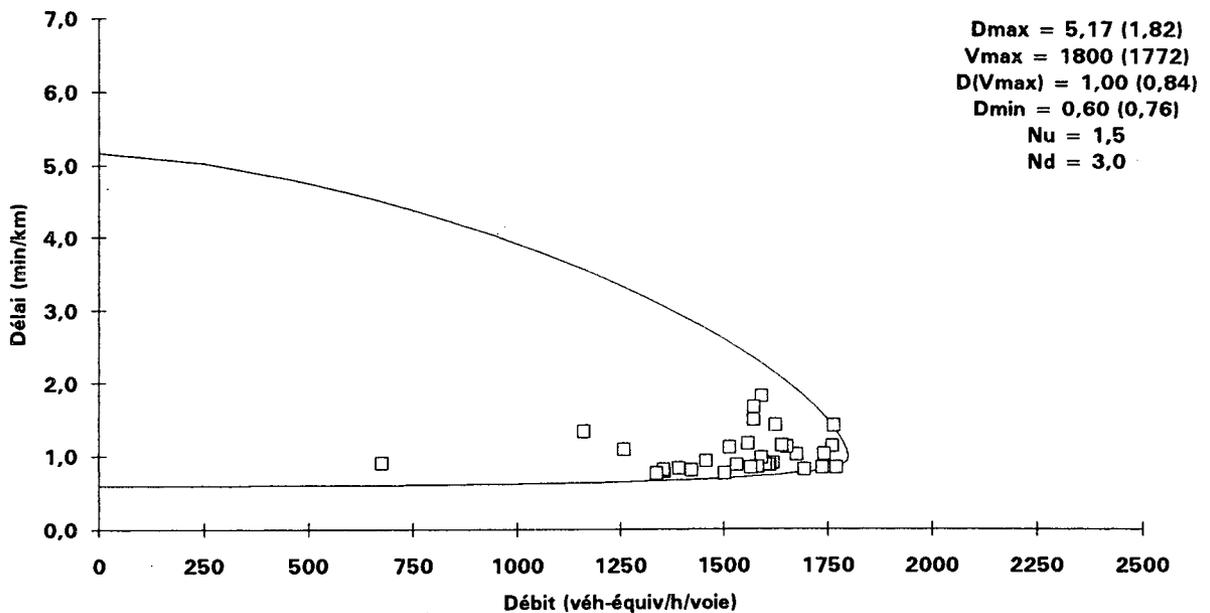
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 8 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



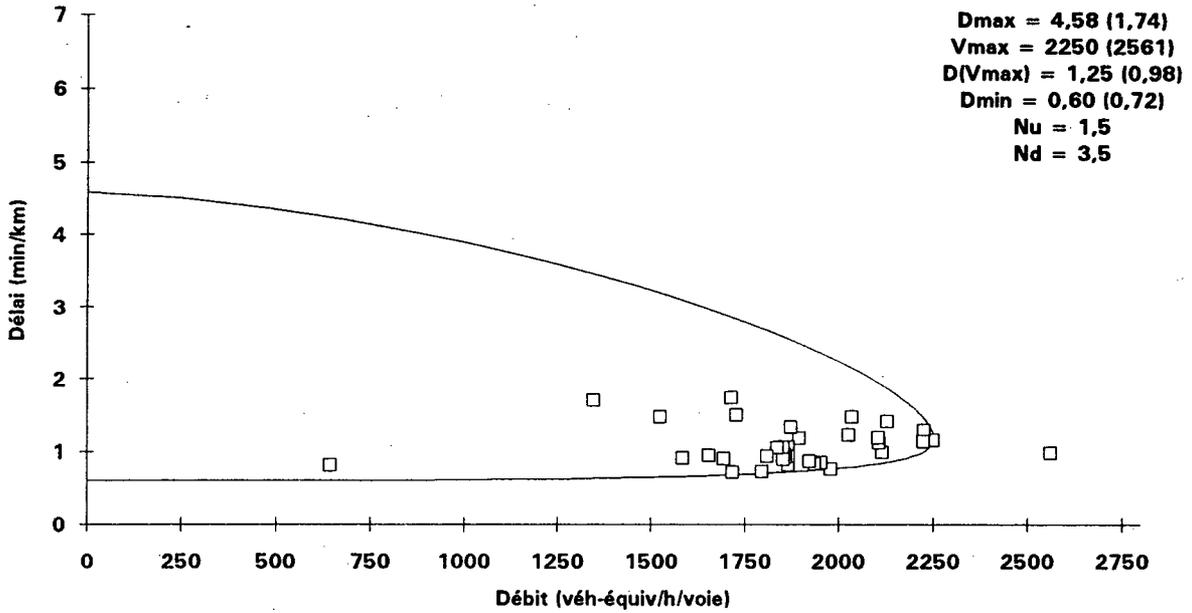
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 14 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



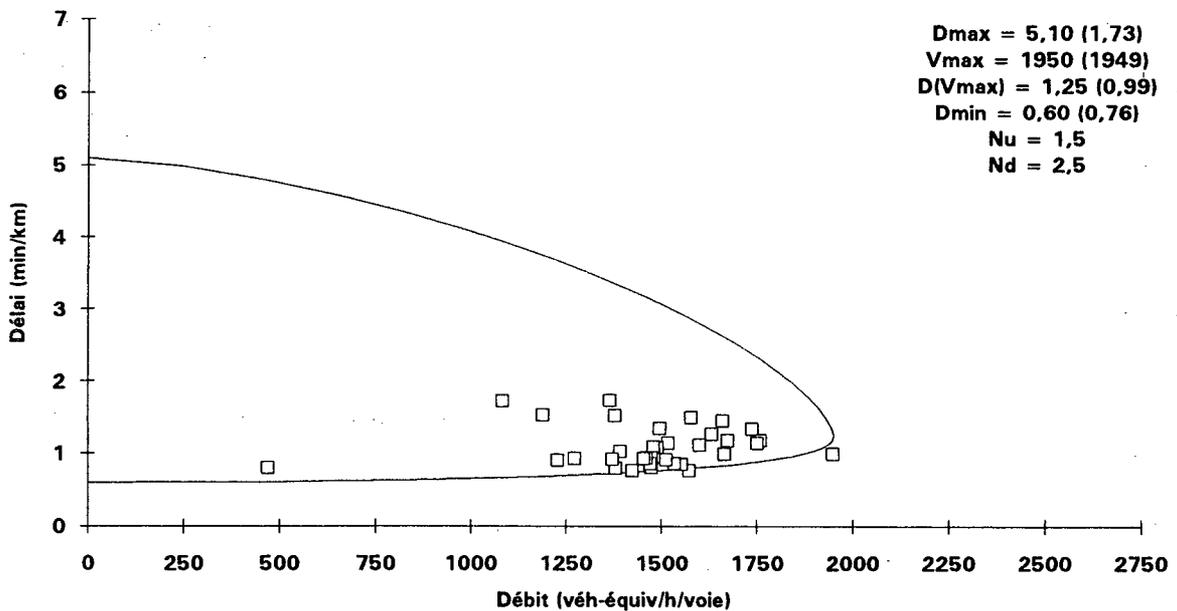
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 17 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



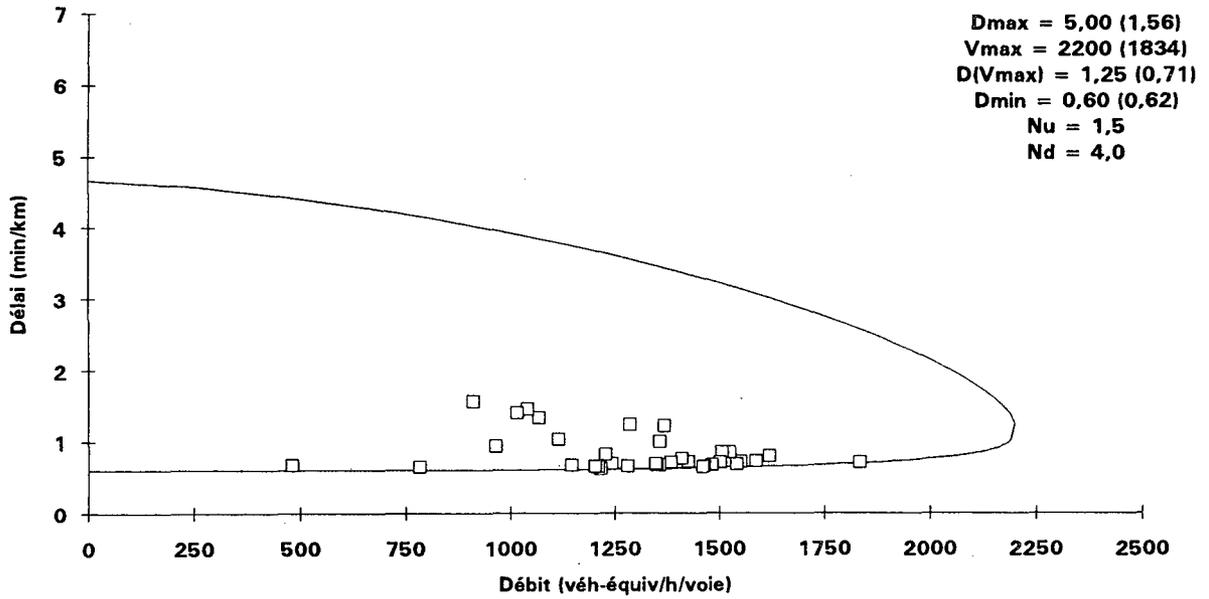
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 16 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



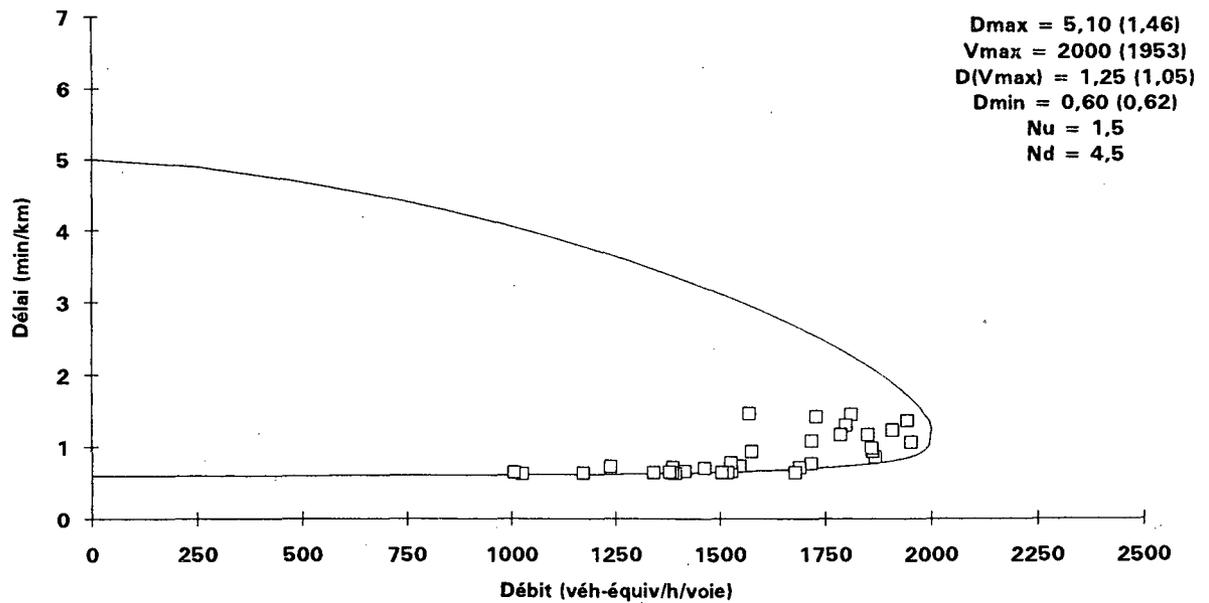
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 15 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



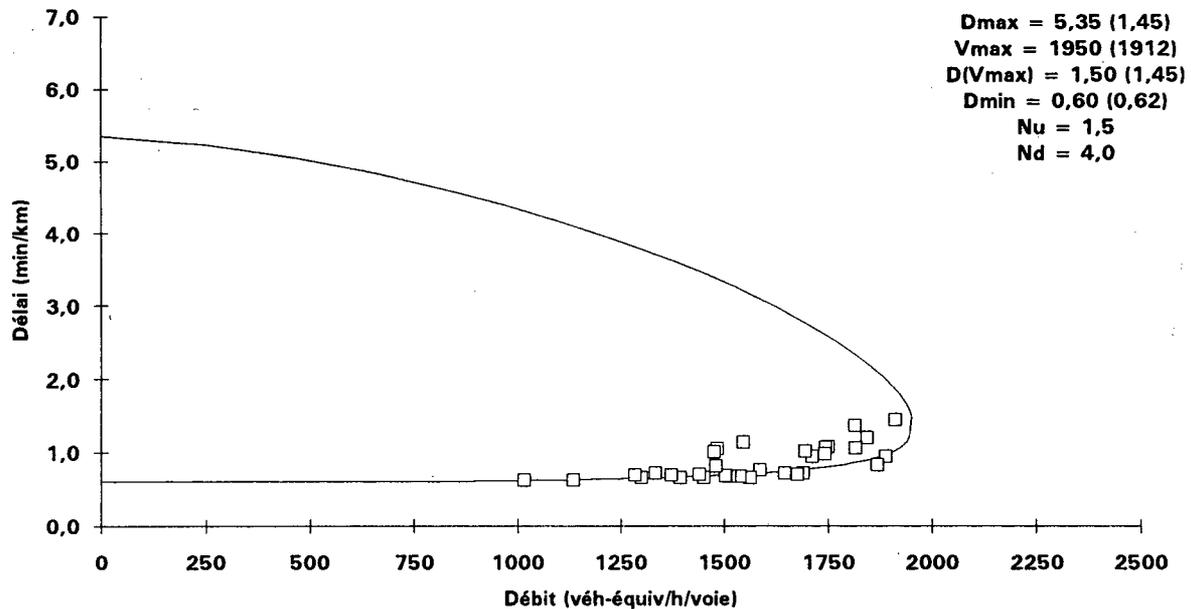
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 4 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



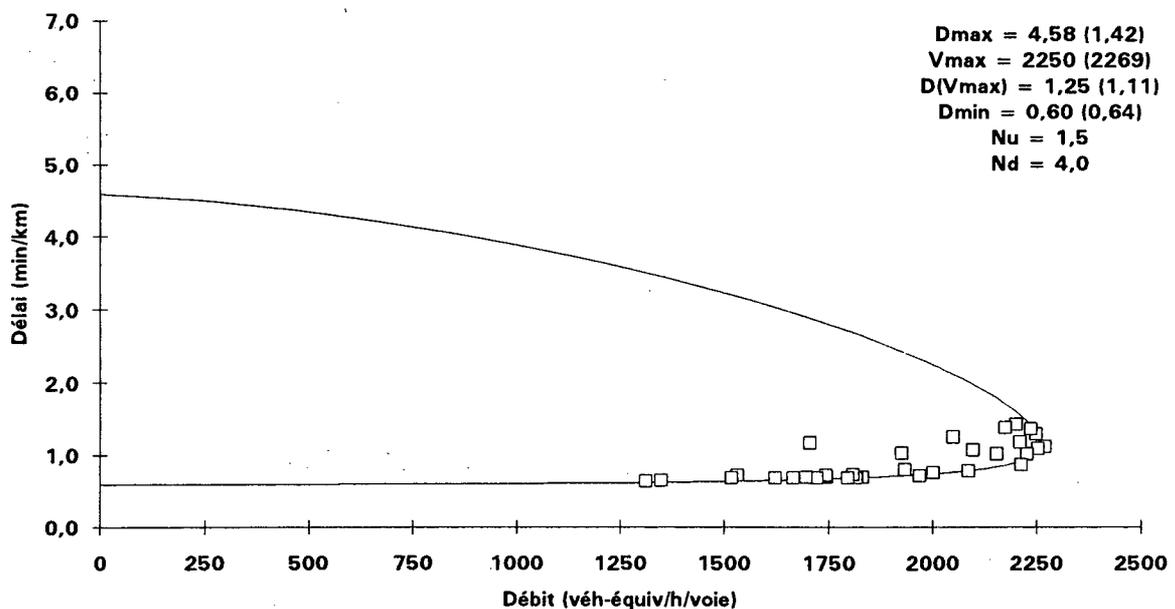
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 10 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



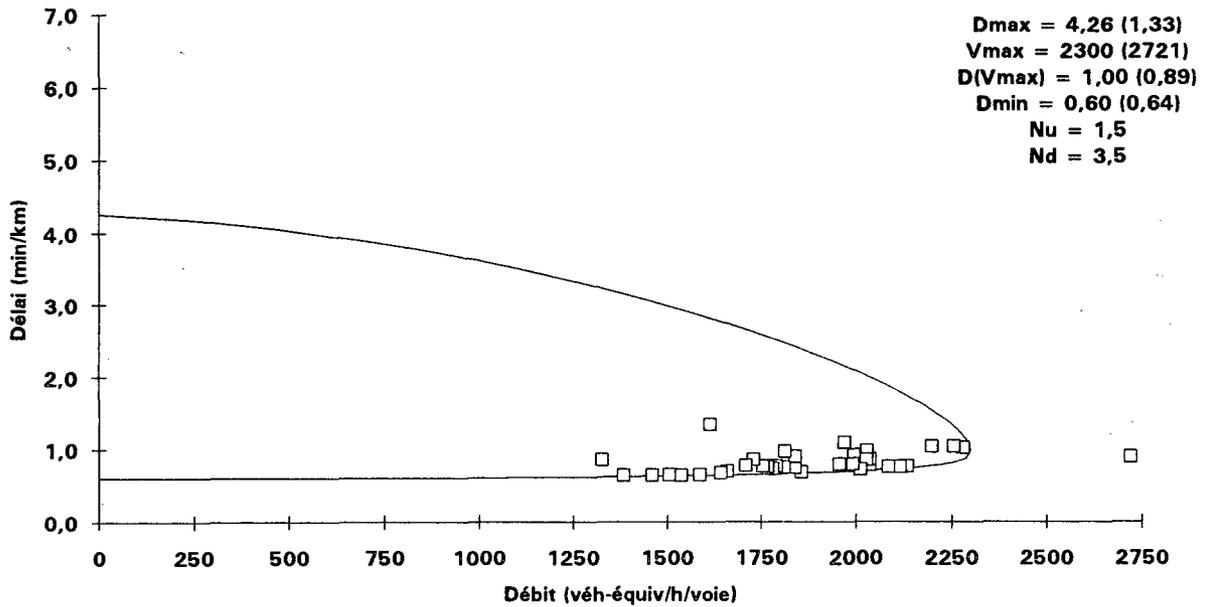
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 12 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



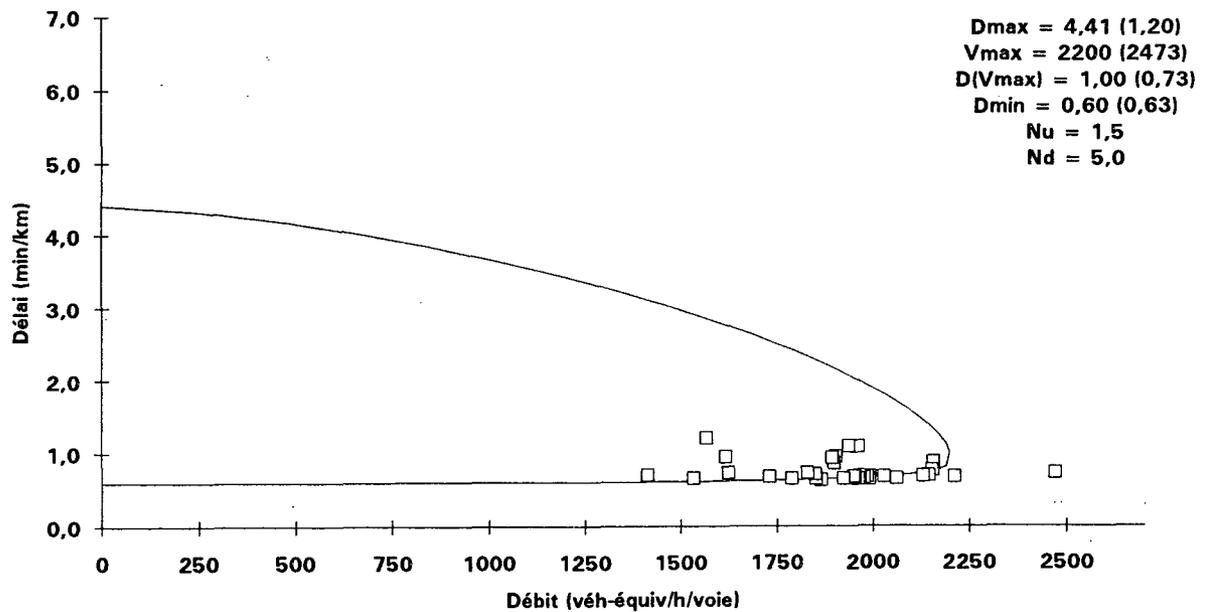
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 11 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



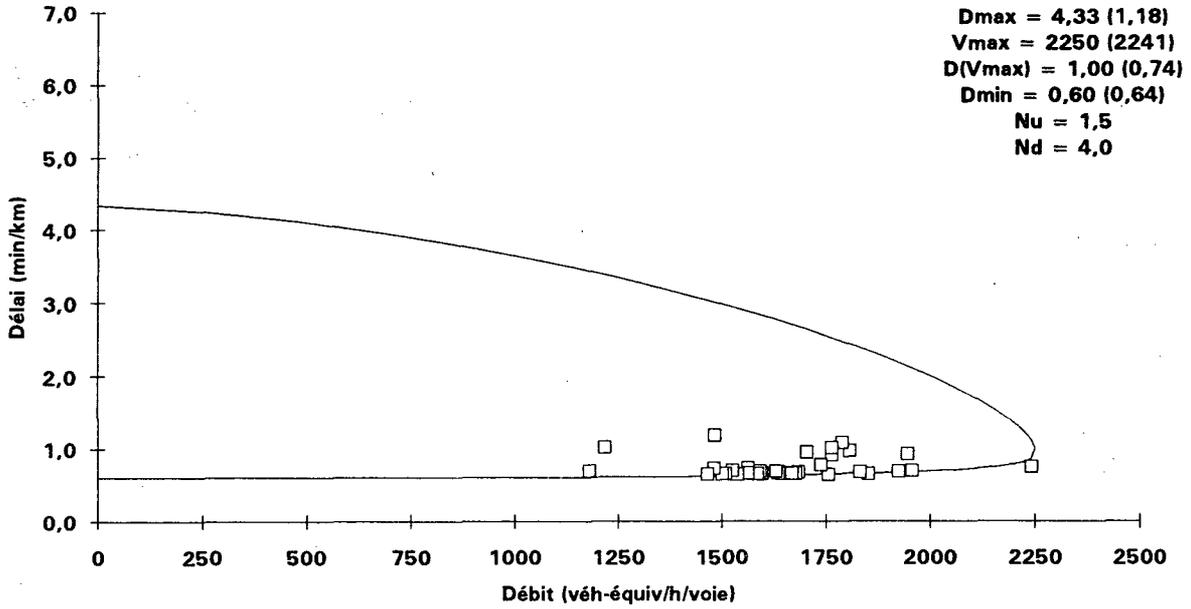
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 1 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



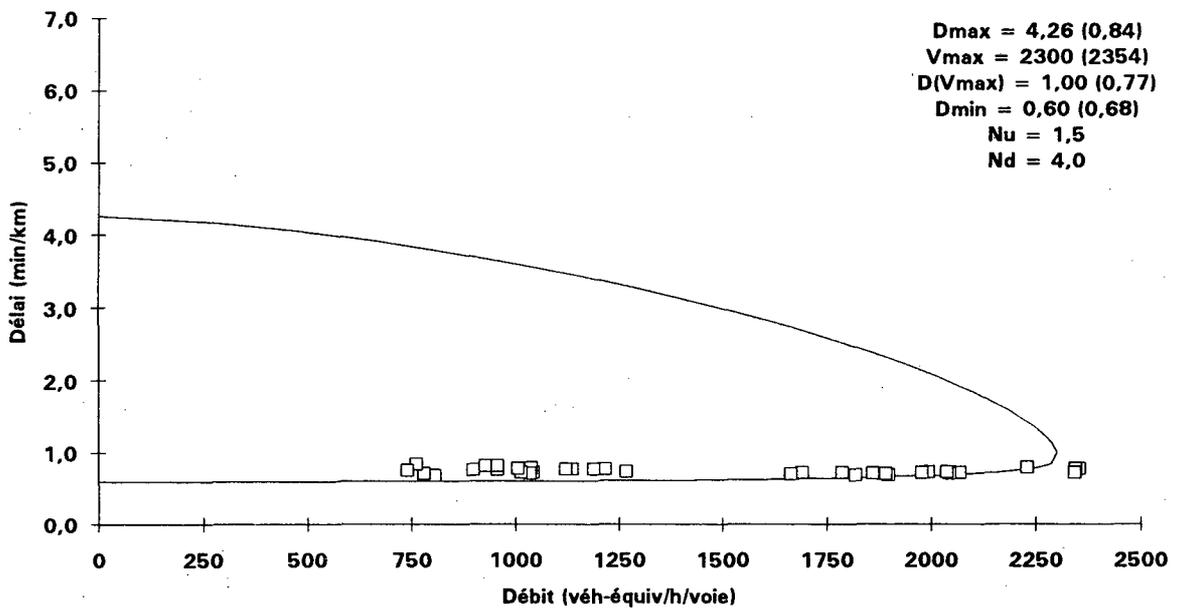
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 3 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



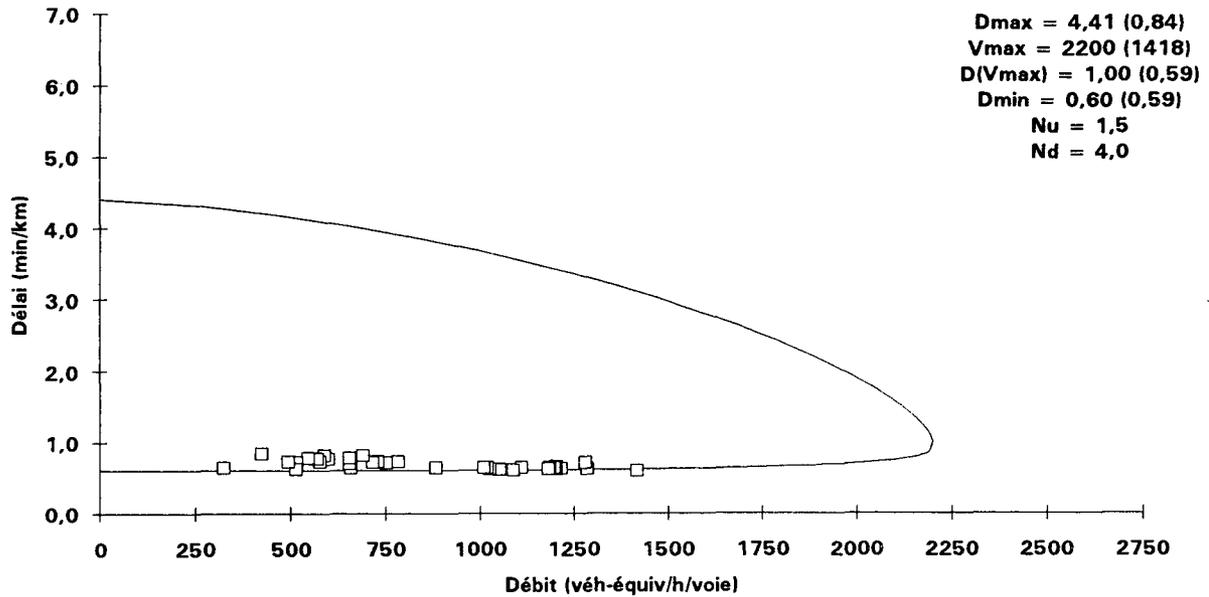
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 2 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



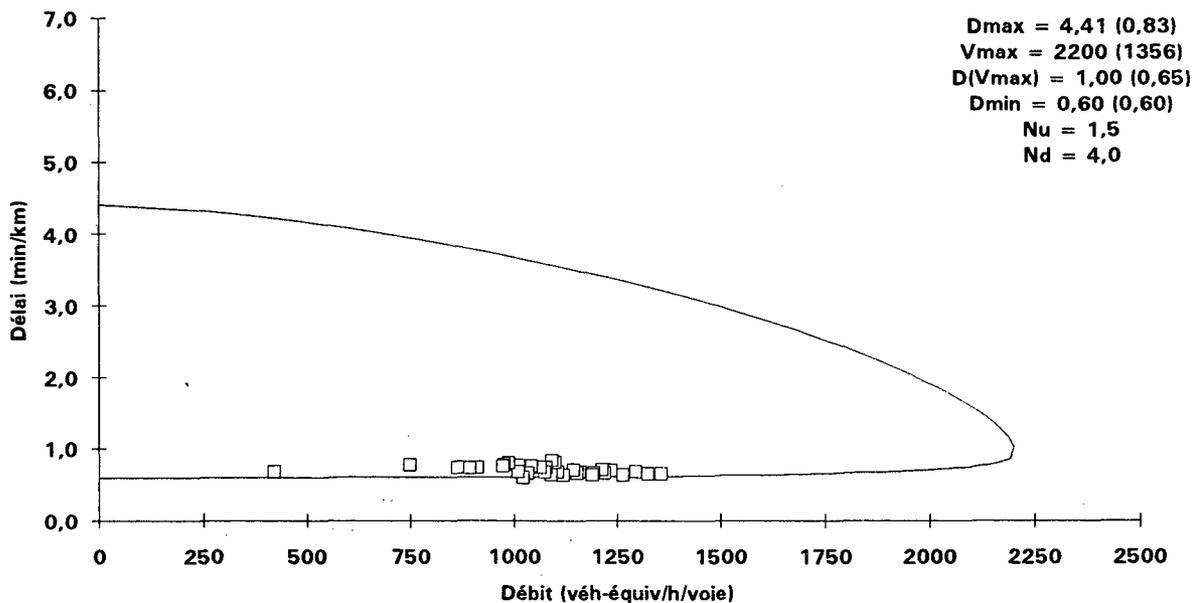
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 21 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



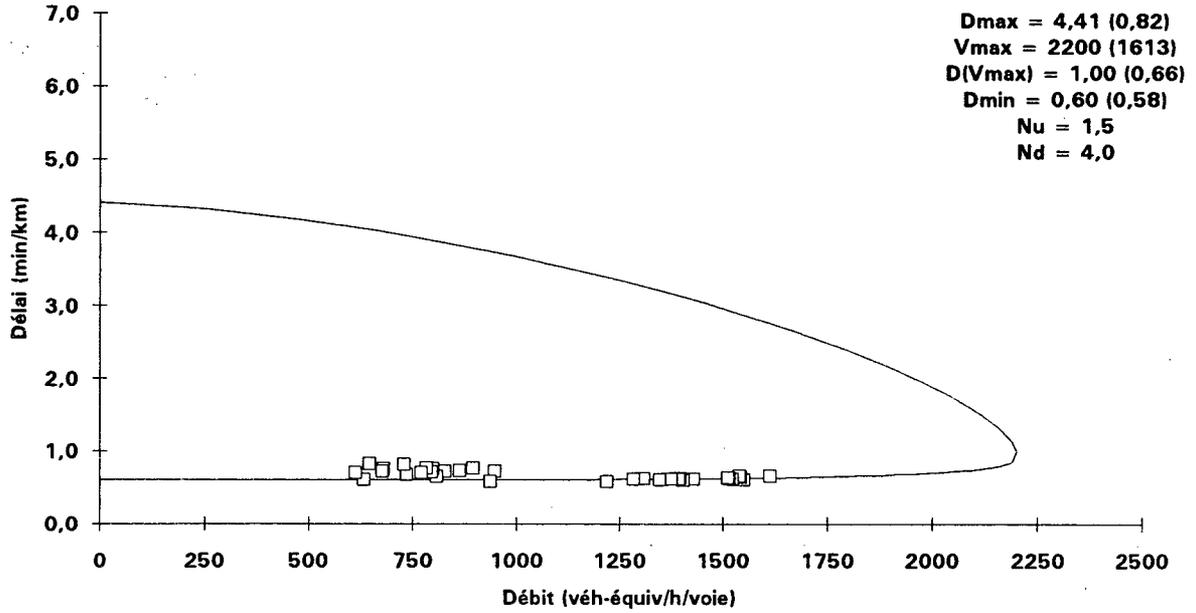
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 22 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



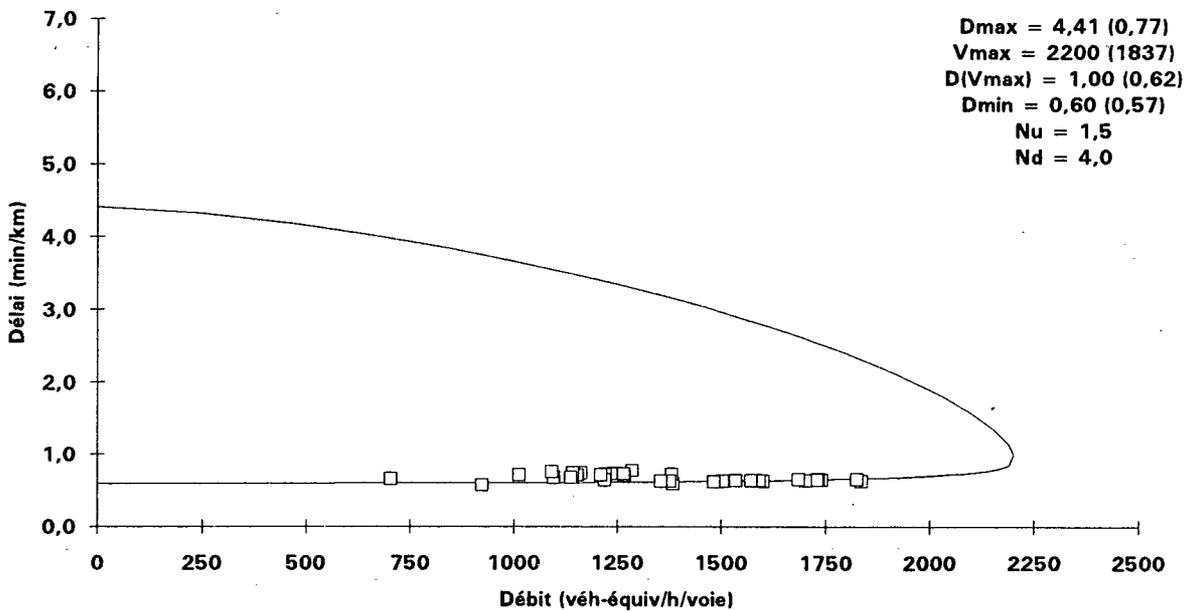
Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 18 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 20 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



Observations et paramètres estimés de la relation Délai/Débit pour le tronçon 19 de la Métropolitaine A40 direction Ouest



A N N E X E C

ANALYSE CONCEPTUELLE DE LA MODÉLISATION DE LA RELATION VOLUME/DÉLAI

Note technique

La relation Volume/Délai

Dans le cadre de la modélisation du réseau routier aux fins de la simulation de la demande de transport, une partie essentielle consiste à déterminer des fonctions volume/délai permettant de simuler le comportement de la charge de la demande de véhicules sur le réseau routier.

Ainsi, on retrouve de façon schématique la représentation conceptuelle du délai de parcours (min/km) imputable à un véhicule comme une fonction du débit de véhicules circulant sur une route à la figure C1.

Généralement, le débit exprime le nombre de véhicules par heure passant sur la route; on observe la relation entre le délai et le débit au moyen des régions 1 et 3 de la figure C1.

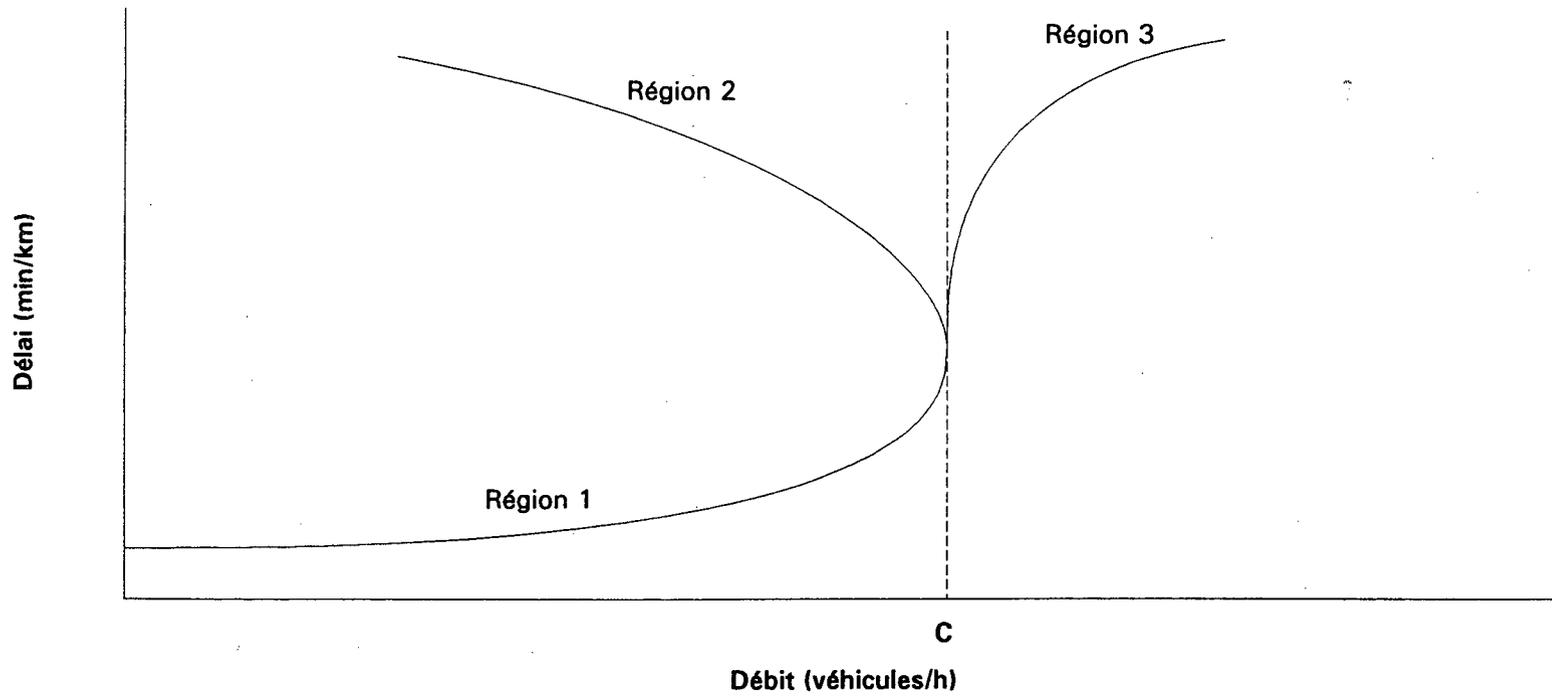
Dans la modélisation, on utilise une forme fonctionnelle décrivant les régions 1 et 3; les régions 1 et 2 ne peuvent pas être représentées par une fonction.

Lorsque théoriquement le débit dépasse la capacité C de la route, on se retrouve en état d'hyper-congestion, c'est-à-dire que les débits plus élevés que la capacité C ne peuvent être satisfaits par leur écoulement sur la route durant la période considérée (période horaire). Néanmoins, ces débits, éventuellement, s'écouleront totalement en débordant la période considérée. Mais en considérant strictement cette période, on dit que les débits plus grands que C ne sont guère plausibles parce qu'on s'en tient à des débits passant sur la route.

Cette dernière notion de «débit passant satisfait» peut être reprise et complétée par la notion de «débit entrant à la route et à satisfaire». Dans le «débit entrant à satisfaire» se profile implicitement la notion de file d'attente et le débordement naturel de la période considérée.

Figure C1

Représentation conceptuelle du délai de parcours comme fonction du débit de véhicules



Donc, posons V , le débit passant satisfait et V' , le débit entrant à satisfaire; alors lorsque $V'/C < 1$ (la région 1) : le débit passant satisfait est identique numériquement au débit entrant à satisfaire $V = V'$;

$V'/C \geq 1$ (les régions 2 et 3) :

$V \leq C \leq V'$ avec $V'/C < 1$; c'est dire que $(V'-V)$ véhicules débordent la période considérée mais aussi que la région 3 est une image de la région 2 par rapport à la capacité C .

Le délai (min/km) est donc la résultante de deux termes : le délai de circulation et le temps d'attente en file. Dans la région 1, le temps d'attente est minime, sinon nul. Dans les régions 2 et 3, le temps d'attente est majeur.

Il devient important de situer comment se comporte le temps d'attente. Pour la suite de cette note, on considérera le débit comme le «débit entrant à satisfaire».

Modèle de calcul de temps moyen d'attente par tranche de temps

La présente méthode de calcul de temps moyen d'attente est basée sur l'hypothèse que la capacité est fixe et indépendante du débit entrant à satisfaire (le modèle pourrait s'ajuster sur une capacité variable avec une capacité nominale et une capacité de réactance). Cette méthode décompose la période considérée en tranches de temps. Pour estimer un temps moyen d'attente, elle se base sur une distribution quelconque de débits entrant par tranche de temps telle que le total de ces débits correspond à la demande totale.

Soit $V(i)$ le débit entrant à la tranche de temps $i = 1, \dots, n$. Alors $V_p = \sum_i V(i)$ représente la demande totale à satisfaire pour la période des n tranches de temps.

Soit C_p la capacité pour la période du débit passant; on a donc $C = C_p/n$, la capacité d'une tranche de temps à faire passer le débit.

Soit M le nombre de minutes par tranche de temps. Dans le cas d'une période horaire (période d'une heure) on a :

$$C = C_p \cdot M / 60 \quad (\text{C.-\u00c0.-D. } n = 60 / M).$$

Soit la variable $FAA(i)$, le d\u00e9bit total en attente \u00e0 la fin de la tranche de temps i ; soit $FA(i)$, le d\u00e9bit entrant \u00e0 la tranche de temps i et qui ne passe pas pendant cette tranche de temps (donc en attente \u00e0 la fin de la tranche de temps). Alors, en posant $FAA(0) = 0$, pour tout $i = 1, \dots, n$,

$$FAA(i) = \text{MAX}[FAA(i-1)-C, 0] + FA(i).$$

En effet, au d\u00e9but de la tranche de temps i , il y a $FAA(i-1)$ v\u00e9hicules \u00e0 satisfaire avant de satisfaire le d\u00e9bit entrant en i , $V(i)$, et \u00e0 la fin de cette tranche, il y a $FAA(i)-C$ v\u00e9hicules non satisfaits plus les $FA(i)$ v\u00e9hicules, par d\u00e9finition.

Ainsi pour tout $i = 1, \dots, n$,

$$FA(i) = \text{MAX}[V(i) - \text{MAX}[C-FAA(i-1), 0], 0],$$

c'est-\u00e0-dire que la capacit\u00e9 restante pour le d\u00e9bit entrant $V(i)$ \u00e0 la tranche de temps i est $C-FAA(i-1)$. Donc, la diff\u00e9rence entre $V(i)$ et la capacit\u00e9 restante est le d\u00e9bit entrant en attente pour cette tranche.

Soit $TA(i)$, le temps moyen d'attente du d\u00e9bit entrant \u00e0 la tranche de temps i et qui ne passe pas pendant cette tranche de temps (C.-\u00c0.-D. le d\u00e9bit $FA(i)$); alors pour tout $i = 1, \dots, n$,

$$TA(i) = M \cdot (\text{MAX}[FAA(i)-FA(i), 0] / C) + \frac{1}{2} \cdot M \cdot (FA(i)/C).$$

À la fin de la tranche de temps i , il y a $FAA(i)-FA(i)$ véhicules en attente avant les $FA(i)$ véhicules dans la file. L'estimation de l'attente pour les $FA(i)$ véhicules se base sur un véhicule au milieu de ces $FA(i)$. Ainsi, nous obtenons le temps moyen d'attente pour l'ensemble du débit en attente par :

$$\Sigma_i (FA(i) \cdot TA(i)) / \Sigma_j FA(j).$$

Le temps moyen d'attente pour la demande totale est alors :

$$TMA = \Sigma_i (FA(i) \cdot TA(i)) / V_p.$$

Par ailleurs, soit $DA(i)$ la longueur moyenne de la file d'attente en km à la tranche de temps i ; alors pour tout $i = 1, \dots, n$,

$$DA(i) = LV \cdot (\text{MAX} [FAA(i)-FA(i), 0] + \frac{1}{2} \cdot FA(i))$$

où LV est la longueur en km d'un véhicule moyen incluant la distance qui le sépare du véhicule qui le précède.

Finalement, nous avons la longueur moyenne de la file d'attente pour la demande totale exprimée par :

$$LMA = \Sigma_i (FA(i) \cdot DA(i)) / V_p.$$

De façon générale, soit $P(i)$ une probabilité ou bien un poids associé à la tranche de temps i . La prochaine transformation permet de normaliser cette distribution par :

$$P'(i) = P(i) / \Sigma_j P(j).$$

Pour une demande totale à satisfaire connue V_p , la distribution des débits entrant par tranche de temps sera donc :

$$V(i) = V_p \cdot P'(i).$$

Modèle général sur le temps moyen d'attente

La présente formulation consiste à développer le précédent modèle d'estimation du temps moyen d'attente à partir d'une distribution continue du débit entrant.

Soit la période considérée, s'étalant du temps t_i au temps t_f , durant laquelle le nombre de véhicules entrant s'exprime par une fonction de densité continue $f(t)$, c'est-à-dire qu'au temps t ($t_i \leq t \leq t_f$) il y a $f(t)$ véhicules entrant.

Le débit total entrant durant la période considérée est alors :

$$V_p = \int_{t_i}^{t_f} f(t) \cdot dt .$$

De plus, soit C_p la capacité totale pour la période considérée, et soit $C(t)$ la capacité au temps t . Par hypothèse $C(t) = C$ (une constante par rapport au temps t) ce qui implique par définition :

$$C_p = \int_{t_i}^{t_f} C(t) \cdot dt = C \cdot \int_{t_i}^{t_f} dt = C \cdot (t_f - t_i) .$$

Posons $FAA(t)$ le nombre de véhicules en attente au temps t (incluant ceux entrant à t , C.-À.-D. $f(t)$). Ici $FAA(t)$ ne peut pas facilement être représenté par une formule. Toutefois, si on pose que $F(t)$ est le nombre de véhicules qui ont été ou sont encore en attente durant la période de t_i à t , où

$$F(t) = \int_{t_i}^t \text{MAX}[f(t) - C, 0] \cdot dt ,$$

et que $U(t)$ est la capacité maximale libre durant la période de t_i à t , où

$$U(t) = \int_{t_i}^t \text{MAX}[C - f(t), 0] \cdot dt ,$$

et que $R(t)$ est la capacité ne pouvant pas être utilisée durant la période de t_i à t (en effet il peut exister des temps u durant la période considérée où $FAA(u) = 0$ et $R(t)$ est la somme de ces capacités restantes non utilisées sur les u : $MAX[C-f(u),0]$). Alors nous pouvons poser que :

$$FAA(t) = MAX[F(t) - (U(t) - R(t)), 0].$$

On sait que $0 \leq R(t) \leq U(t)$.

La figure C2 représente schématiquement la distribution $f(t)$ du nombre de véhicules dans le temps par rapport à la capacité C . Alors, sur le graphique de la figure C2, $F(t)$ est la somme des aires $A1$ de t_i à t , $U(t)$ est la somme des aires $A2$ et $A3$ alors que $R(t)$ est la somme des aires $A3$ seulement.

Des $f(t)$ véhicules entrant au temps t , soit $FA(t)$ véhicules en attente à partir de t ($FA(t) \leq f(t)$); alors

$$FA(t) = MAX[f(t)-MAX[C-FAA(t), 0], 0].$$

Le nombre moyen de véhicules de la file d'attente au temps t est :

$$VA(t) = (MAX[FAA(t)-FA(t),0] + \frac{1}{2} \cdot FA(t))$$

alors que la longueur moyenne de la file d'attente est :

$$DA(t) = LV \cdot VA(t)$$

et que la pondération en dt pour le temps moyen d'attente est :

$$TA(t) = VA(t) / C = (tf - t_i) \cdot VA(t) / Cp,$$

c'est-à-dire que $FA(t)$ véhicules attendent chacun un temps de $TA(t) \cdot dt$.

La relation entre le délai moyen d'attente DMA, la capacité Cp et la distance véhicule à véhicule en file d'attente LV

Par des développements à partir du modèle par tranche de temps et du modèle général, nous allons exprimer mathématiquement la relation conséquente entre le délai moyen d'attente en min/km DMA, la capacité horaire Cp et la distance inter véhicule en file d'attente LV.

Le calcul du délai moyen d'attente en min/km s'établit par :

$$DMA = TMA / LMA$$

où le temps moyen d'attente est exprimé par TMA et la longueur moyenne de la file d'attente par LMA.

Dans le cadre du modèle par tranche de temps, nous avons :

$$TMA = \sum_i (FA(i) \cdot TA(i)) / Vp$$

et la longueur moyenne de la file d'attente est :

$$LMA = \sum_i (FA(i) \cdot DA(i)) / Vp.$$

Or,

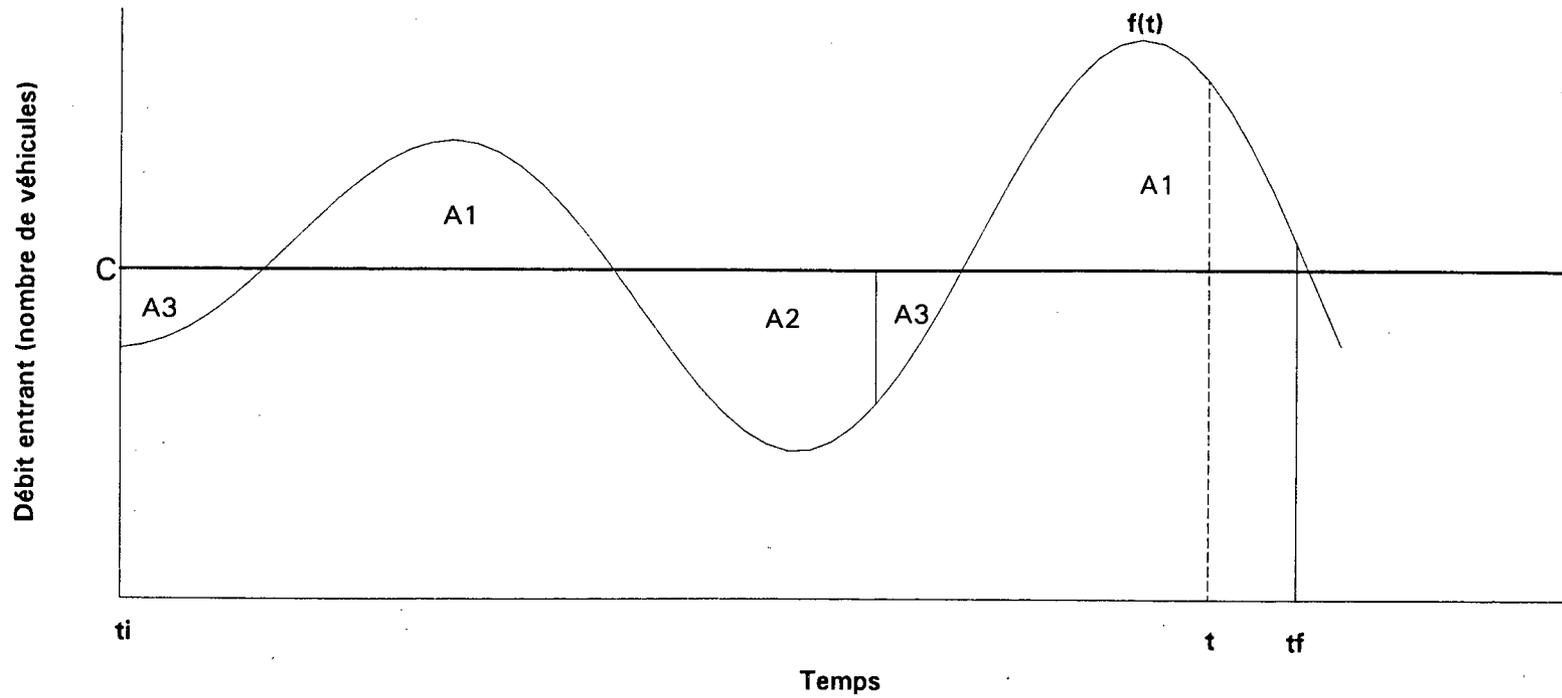
$$\begin{aligned} TA(i) &= M \cdot (\text{MAX}[FAA(i)-FA(i),0] / C) + \frac{1}{2} \cdot M \cdot (FA(i)/C) \\ &= (M/C) \cdot (\text{MAX}[FAA(i)-FA(i),0] + \frac{1}{2} \cdot FA(i)) \\ &= (M/C) \cdot \delta(i). \end{aligned}$$

Par ailleurs,

$$\begin{aligned} DA(i) &= LV \cdot (\text{MAX}[FAA(i)-FA(i),0] + \frac{1}{2} \cdot FA(i)) \\ &= LV \cdot \delta(i). \end{aligned}$$

Figure C2

Représentation schématique d'une distribution continue $f(t)$ dans le temps du débit entrant par rapport à la capacité C



C'est ainsi que

$$\begin{aligned}
 \text{DMA} &= \frac{\sum_i (\text{FA}(i) \cdot \text{TA}(i))}{\sum_j (\text{FA}(j) \cdot \text{DA}(j))} \\
 &= \frac{\sum_i (\text{FA}(i) \cdot (M/C) \cdot \delta(i))}{\sum_j (\text{FA}(j) \cdot \text{LV} \cdot \delta(j))} \\
 &= \frac{((M/C) \cdot \sum_i (\text{FA}(i) \cdot \delta(i)))}{(\text{LV} \cdot \sum_j (\text{FA}(j) \cdot \delta(j)))}.
 \end{aligned}$$

On obtient alors la relation suivante :

$$\text{DMA} = M / (\text{LV} \cdot C).$$

Mais en considérant C_p la capacité horaire totale et sachant que

$$C = C_p \cdot M / 60,$$

nous avons finalement la relation recherchée, à savoir :

$$\text{DMA} = 60 / (\text{LV} \cdot C_p).$$

Maintenant, pour le cas du modèle général, d'une part, la longueur totale des files d'attente pour chaque véhicule en attente sur la demande totale donne :

$$\begin{aligned}
 LMA &= \frac{\int_{t_i}^{t_f} \text{FA}(t) \cdot \text{DA}(t) \cdot dt}{V_p} \\
 &= \frac{\text{LV}}{V_p} \cdot \int_{t_i}^{t_f} \text{FA}(t) \cdot \text{VA}(t) \cdot dt
 \end{aligned}$$

et, d'autre part, le temps total d'attente sur la demande totale est :

$$\begin{aligned}
 TMA &= \frac{\int_{t_i}^{t_f} \text{FA}(t) \cdot \text{TA}(t) \cdot dt}{V_p} \\
 &= \frac{(t_f - t_i)}{C_p \cdot V_p} \cdot \int_{t_i}^{t_f} \text{FA}(t) \cdot \text{VA}(t) \cdot dt.
 \end{aligned}$$

La formule $DMA = TMA / LMA$ implique donc que

$$DMA = (tf - ti) / (LV \cdot Cp).$$

Dans le cas de Cp capacité horaire, l'intervalle de temps $(tf - ti)$ équivaut à 60 minutes. Ce qui, en conclusion, est la relation recherchée.

ANNEXE D

**FICHIERS DU PROGRAMME SOURCE SIMDYN EN LANGAGE C
POUR LA SIMULATION DYNAMIQUE D'UNE ROUTE À PARTIR
DES ENTRÉES/SORTIES SUR LES VÉHICULES**

Fichier : SIMDYN.H

```
#define RECERR -9
#define NONOBS -8

#define MANQUANT 0
#define OBSERVE 1

/* Prototype des fonctions */

int strhr( float h );
int lirenum( FILE *f );
int lectparm( FILE *f );
int lectdist( FILE *f );
int lectveh( FILE *f );
int lectrecv( FILE *f );
int phase3( int nuvoid );
int phase4( FILE *f );
int prodr1( FILE *f );
int prodr2( FILE *f );
int prodr3( FILE *f );

/* Nombre maximum de tronçons */
#define mNT 50

/* Nombre maximum de tranches de temps */
#define mL 100

/* Nombre maximum de classes de véhicules */
#define mNC 10
```

Fichier : SIMDYN.C

/* Programme en C: compilé avec TurboC modèle LARGE
auteur: André Babin
Service de la Modélisation et des Bases de Données
MTQ

Programme SIMDYN permettant de faire une simulation dynamique des véhicules sur une route par tronçon et par tranche de temps à partir d'information sur le trajet des véhicules: l'heure et le point d'entrée et l'heure et le point de sortie. La route est divisée en tronçons où il y a des entrées/sorties. Les résultats de la simulation sont le volume de véhicules par classe par tronçon et par tranche de temps ainsi que la vitesse moyenne observée pour la classe automobile (classe 1) par tranche de temps pour l'ensemble des tronçons (avec le cas échéant la vitesse observée des automobiles dont le trajet est d'ordre plus petit ou égal à l'ordre maximal d'observation). De plus, la vitesse moyenne extrapolée pour l'automobile est fournie par tranche de temps et par tronçon (pour tous les tronçons).

Les informations nécessaires au programme sont regroupées en trois fichiers d'entrée.

Le premier fichier d'entrée contient les paramètres généraux pour le problème à solutionner:

NT	(le nombre de tronçons)	Entier
NC	(le nombre de classe)	Entier
DT	(le nombre de minutes / tranche)	Réel
M	(l'ordre maximal des E/S pour vitesse)	Entier
NOBS	(le nombre minimal d'observ./tronçon pour les vitesses observées)	Entier
NDOBS	(le nombre minimal d'observ./tranche/tronçon pour sortie durée/débit par classe)	Entier

Le deuxième fichier d'entrée contient la table des longueurs des tronçons en kilomètres et où le dernier tronçon est fictif. Pour chaque tronçon on a par ligne:

I	(le numéro du tronçon)	Entier
DIST	(la longueur en km)	Réel

Le dernier fichier d'entrée contient les informations sur les véhicules.

Pour chaque véhicule on a par ligne:

I	(le numéro de tronçon de l'entrée)	Entier
J	(le numéro de tronçon de la sortie)	Entier
VITESSE	(la vitesse du véh. en km/h)	Réel
HMINUTE	(l'heure d'entrée en minutes)	Réel
CLASSE	(le numéro de classe du véhicule)	Entier

Les données d'entrée au programme sont fournies en indiquant les noms des fichiers respectifs au programme.

Les résultats sont envoyés dans trois fichiers de sortie. Le premier fichier de sortie est obligatoire, les autres sont facultatifs. Les informations sont séparées par le caractère TAB (pour lecture dans EXCEL).

Le premier fichier de sortie contient les résultats relatifs aux couples délai/débit par classe ou on a par ligne:

DUREEOBS*	(la durée observée du tronçon/tranche de temps en min./km)
VOBS *	(le nombre d'observations pour la durée observée)
DUREEMOY	(la durée moyenne du tronçon/tranche de temps en min./km)
DÉBUT	(l'heure de début de la tranche de temps)
NOTR	(le numéro du tronçon considéré)
VOL_1	(le volume de véhicules de classe 1 pour le tronçon/tranche) (le nombre d'automobiles pour la durée moyenne)
VOL_2	(le volume de véhicules de classe 2 pour le tronçon/tranche)
.....	
VOL_NC	(le volume de véh. de classe NC pour le tronçon/tranche)

*: Lorsque pour un tronçon/tranche de temps on rencontre les conditions suivantes, i.e., un nombre d'observation d'automobiles d'ordre plus petit ou égal à l'ordre maximal d'observation M qui soit plus grand ou

Fichier : SIMDYN.C

égale au nombre d'observation NDOBS.

Le deuxième fichier de sortie (facultatif) contient les résultats sur les vitesses moyennes (km/h) après intrapolation/extrapolation de la classe 1 pour tous les tranches/tronçons on a une ligne par tranche de temps en ordre chronologique:

DÉBUT (l'heure de début de la tranche de temps)
VIT_1 (la vitesse moyenne du tronçon 1 pour la tranche)
.....
VIT_NT (la vitesse moyenne du tronçon NT pour la tranche)

Finalemnt le troisième fichier (facultatif) contient les résultats sur les débits totaux de toutes les classes pour tous les tranches/tronçons on a une ligne par tranche de temps en ordre chronologique:

DÉBUT (l'heure de début de la tranche de temps)
VOLT_1 (le volume total du tronçon 1 pour la tranche)
.....
VOLT_NT (le volume total du tronçon NT pour la tranche)

La détection d'erreurs provoque les messages conséquents qui sont cheminés à l'écran ou bien dans un fichier par redirection.

Exemple d'exécution du programme

SIMDYN parm.txt dist.txt veh.txt durvol.txt vit.txt voltot.txt >mess.txt

*/

```
#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include "simdyn.h"
```

```
/****** DONNEES DE BASE *****/
```

```
/* Nombre de tronçons */
unsigned int NT;
```

```
/* Nombre de classes */
unsigned int NC;
```

```
/* Longueur d'une tranche de temps en minutes */
float DT;
```

```
/* Ordre maximal des E/S à traiter pour la vitesse moyenne auto */
unsigned int M;
```

```
/* Nombre minimal d'observations sur un tronçon pour qu'il soit
déclaré tronçon observé */
unsigned int NOBS;
```

```
/* Nombre minimal d'observations sur une tranche/tronçon pour la sortie
des résultats durée/débit par classe par tranche/tronçon */
unsigned int NDOBS;
```

```
/* Distances des tronçons */
float dist[mNT];
```

```
/* Enregistrement d'un véhicule */
unsigned int iv, jv, clv;
float vitv, hmv;
```

```
/* Conversion en HH:MM:SS pour sortie */
char heure[10];
```

```
/******
```

```
/* Nombre de tranches de temps déterminé après lecture des véhicules */
unsigned int L;
```

```
/* Heure de début en minutes déterminé après lecture des véhicules */
float hdeb;
```

Fichier : SIMDYN.C

```

/* Pointeurs des vecteurs pour les résultats */
/* les pointeurs représentent des vecteurs de dimension 2 ou 3
de tailles mNT (dimension 1), mL (dimension 2) et NC (dimension 3) */
/* Nombre d'autos observées par tronçon ii par tranche de temps ll
pour la vitesse moyenne accès par le pointeur: (fauto + ii*mL + ll) */
unsigned int *fauto;
/* Vitesse moyenne auto observée par tronçon ii par tranche de temps ll se
trouve pour le cas fauto[ii][ll]>0, représente aussi vitesse pour auto comme poids
pour traiter le trajet d'un véhicule dans le calcul du débit Fveh[cc][ii][ll]
pour chaque classe de véhicules cc
accès par le pointeur: (vit + ii*mL + ll) */
float *vit;
/* Temps total des autos observées par tronçon ii par tranche de temps ll
accès par le pointeur: (Tdur + ii*mL + ll) */
float *Tdur;
/* Débits résultants par tronçon ii par tranche de temps ll et par
classe de véhicules cc accès par le pointeur: (Fveh[cc] + ii*mL + ll) */
unsigned int *Fveh[mNC];

main (argc, argv)
int argc;
char *argv[];

{
/* Variables et routines standard pour fichiers */
FILE *fopen(), *fiparm, *fidist, *fiveh, *fires;

/* Vecteurs temporaires */
/* Heure sur chaque tronçon parcouru par un véhicule */
float ph[mNT];
/* Portion de la distance de chaque tronçon parcouru par un véhicule
sur la distance totale du trajet */
float pt[mNT];
/* Tranche de temps de passage sur chaque tronçon parcouru par un
véhicule */
unsigned int ldex[mNT];

/* Variables de travail */

float hmin, hmax;
long int nbrec;
int iserr, notmem;
unsigned int ii, ll, k;
float dij, du, tdv;

/* DÉBUT DU PROGRAMME */
/* Lire les noms des fichiers des données */

if (argc < 5) {
printf( "SIMDYN PARM DIST VEH DURVOL [VITM [VOLTOT]] [>MESSG]\n");
printf( "      PARM: Nom du fichier d'entrée des paramètres\n");
printf( "      DIST: Nom du fichier d'entrée des distances des tronçons\n");
printf( "      VEH: Nom du fichier d'entrée des véhicules\n");
printf( "      DURVOL: Nom du fichier de sortie pour délai/débit par classe\n");
printf( "      VITM: Nom du fichier de sortie facultative pour vitesses moyennes\n");
printf( "      VOLTOT: Nom du fichier de sortie facultative pour volumes totaux\n");
printf( "      MESSG: Nom du fichier facultatif (écran par défaut) pour messages\n");
return;
}
printf( " *****\n\n");
printf( "          S I M D Y N\n");
printf( "          Version 1.0\n");
printf( " Simulation dynamique d'une route par les Entrées/Sorties\n");
printf( "          André Babin\n");
printf( "          Service de la Modélisation et des Bases de Données\n");
printf( "          MTQ\n");
printf( " *****\n\n");

/* Mémoire dynamique allouée pour chaque vecteur */

```

Fichier : SIMDYN.C

```

notmem = 0;
if ((fauto = (unsigned int *) malloc(mNT*mL*sizeof(unsigned int))) == NULL) notmem = 1;
if ((vit = (float *) malloc(mNT*mL*sizeof(float))) == NULL) notmem = 1;
if ((Tdur = (float *) malloc(mNT*mL*sizeof(float))) == NULL) notmem = 1;
for (ii=0; ii<mNC; ii++) {
    if ((Fveh[ii] = (unsigned int *) malloc(mNT*mL*sizeof(unsigned int))) == NULL) notmem = 1;
}
if (notmem == 1) {
    printf( "MSG: Espace mémoire disponible insuffisante !\n");
    return;
}

if ((fiparm = fopen(argv[1],"r")) == NULL) {
    printf( "MSG: Le fichier des paramètres %s n'est pas accessible !\n", argv[1]);
    return ;
}
if ((fidist = fopen(argv[2],"r")) == NULL) {
    printf( "MSG: Le fichier des distances des tronçons %s n'est pas accessible !\n", argv[2]);
    return ;
}
if ((fivch = fopen(argv[3],"r")) == NULL) {
    printf( "MSG: Le fichier des véhicules %s n'est pas accessible !\n", argv[3]);
    return ;
}
if ((fires = fopen(argv[4],"w")) == NULL) {
    printf( "MSG: Le fichier 1 de sortie %s ne peut pas être créé !\n", argv[4]);
    return ;
}

if (lectparm(fiparm) == EOF) return;
fclose(fiparm);

if (lectdist(fidist) == EOF) return;
fclose(fidist);

/* INITIALISATION */
hmin = 9999.0;
hmax = 0.0;
nbrec = 0L;

/* PHASE 1 : Première lecture du fichier des véhicules pour vérifier
la consistance des informations sur les véh. et pour déterminer
le nombre de tranches de temps et l'heure de début */

printf( "\n P H A S E 1\n");
while( (iserr=lectveh(fivch)) != EOF ) {
    nbrec++;
    if (iserr == RECERR) {
        printf( "MSG: Erreur à l'enregistrement du véhicule no.: %ld\n", nbrec);
        return;
    }
    if (hmin > hmv) hmin = hmv;
    dij = 0.0;
    for (k=iv; k<jv; k++) dij += dist[k];
    tdv = 60.0 * dij / vitv;
    if (hmax < (hmv + tdv)) hmax = hmv + tdv;
}
printf( " Nombre de véhicules traités: %ld\n", nbrec);
hdeb = ((int) (((int) (hmin)) / DT)) * DT;
strhr(hmin);
printf( " L'heure minimale détectée (début de trajet): %s\n", heure);
strhr(hmax);
printf( " L'heure maximale estimée (fin de trajet): %s\n", heure);
strhr(hdeb);
printf( " L'heure de début de la première tranche: %s\n", heure);
L = (unsigned int) ( (hmax - hdeb) / DT) + 1;
printf( " Le nombre de tranches de temps nécessaires: %d\n", L);
if (L > mL) {
    printf( "MSG: Nombre maximal de tranches de temps (%2d) dépassé\n", mL);
    printf( "      Heure minimale (en min.) = %6.1f\n", hmin);
    printf( "      Heure maximale (en min.) = %6.1f\n", hmax);
}

```

```

printf( "      Intervalle de la tranche de temps (en min.) = %6.2f\n", DT);
return;
}

/* PHASE 2 : Deuxième lecture du fichier des véhicules pour déterminer
les coupes de vitesses moyennes par tronçon et par tranche
de temps pour la classe automobile (classe 1) à partir des
Entrées/Sorties d'ordre plus petit ou égal à M */

printf( "\n P H A S E 2\n");
rewind(fiveh);
for (ii=0; ii<NT; ii++) {
    for (ll=0; ll<L; ll++) {
        *(fauto+mL*ii+ll) = 0;
        *(Tdur+mL*ii+ll) = 0.0;
    }
}
/* DEBUGDEB
printf("\n Vecteur fauto initialisé par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
    printf(" %d", ll);
    for (ii=0; ii<NT; ii++) printf(" %d", *(fauto+mL*ii+ll));
    printf("\n");
}
printf("\n Vecteur Tdur initialisé par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
    printf(" %d", ll);
    for (ii=0; ii<NT; ii++) printf(" %f", *(Tdur+mL*ii+ll));
    printf("\n");
}
DEBUGFIN */
nbrec = 0L;
while( lectrecv(fiveh) != EOF ) {
    nbrec++;
    if ((clv == 0) && ((jv - iv) <= M)) {
        dij = 0.0;
        for (k=iv; k<jv; k++) dij += dist[k];
        tdv = 60.0 * dij / vitv;
        ph[iv] = 0.0;
        du = 0.0;
        for (k=iv+1; k<jv; k++) {
            du = du + dist[k-1];
            ph[k] = du / dij;
        }
        for (k=iv; k<jv; k++) {
            pt[k] = dist[k] / dij;
        }
        for (k=iv; k<jv; k++) {
            ldex[k] = (unsigned int) ((hmv + (ph[k]*tdv) - hdeb) / DT);
        }
        for (k=iv; k<jv; k++) {
            ll = ldex[k];
            *(fauto+k*mL+ll)++;
            *(Tdur+k*mL+ll) += (pt[k]*tdv);
        }
    }
}
/* DEBUGDEB
printf("\n Vecteur fauto traité par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
    printf(" %d", ll);
    for (ii=0; ii<NT; ii++) printf(" %d", *(fauto+ii*mL+ll));
    printf("\n");
}
printf("\n Vecteur Tdur traité par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
    printf(" %d", ll);
    for (ii=0; ii<NT; ii++) printf(" %f", *(Tdur+ii*mL+ll));
    printf("\n");
}
DEBUGFIN */

```

Fichier : SIMDYN.C

```
printf( " Nombre de véhicules traités: %6ld\n", nbrec);

/* PHASE 3 : Déterminer les vitesses moyennes pour les observations
relevées sur les tronçons / tranche de temps, Intrapoler/
Extrapoler sur les tranches de temps manquantes des tronçons
observés et Intrapoler/Extrapoler sur les tronçons manquants */

printf( "\n P H A S E 3\n");
if (phase3(iserr) == NONOBS) return;

/* PHASE 4 : Troisième lecture du fichier des véhicules pour déterminer
le débit par tronçon et par tranche
de temps pour chaque classe de véhicules à partir des
fluctuations de vitesses observées pour chaque trajet */

printf( "\n P H A S E 4\n");
rewind(fiveh);
phase4(fiveh);

/* PHASE RÉSULTATS */

printf( "\n R É S U L T A T S\n");

/* Fichier 1 de sortie obligatoire */

/* Détermination des tranches de temps les plus tôt pour
chaque tronçon pour lesquelles les débits de véh. sont complets
à partir des vitesses moyennes */

prodr1(fires);

/* Fichier 2 de sortie facultatif */

fires = NULL;
if (argc >= 6) {
    if ((fires = fopen(argv[5],"w")) == NULL) {
        printf( "Le fichier 2 de sortie %s ne peut pas être créé !\n", argv[5]);
        return ;
    }
}
if (fires != NULL) prodr2(fires);

/* Fichier 3 de sortie facultatif */

fires = NULL;
if (argc >= 7) {
    if ((fires = fopen(argv[6],"w")) == NULL) {
        printf( "Le fichier 3 de sortie %s ne peut pas être créé !\n", argv[6]);
        return ;
    }
}
if (fires != NULL) prodr3(fires);
}
```

Fichier : SDLECT.C

```

/* Routines nécessaires pour le programme SIMDYN.C */

#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include "simdyn.h"

/***** DONNEES DE BASE *****/

/* Nombre de tronçons */
extern unsigned int NT;

/* Nombre de classes */
extern unsigned int NC;

/* Longueur d'une tranche de temps en minutes */
extern float DT;

/* Ordre maximal des E/S à traiter pour la vitesse moyenne auto */
extern unsigned int M;

/* Nombre minimal d'observations sur un tronçon pour qu'il soit
déclaré tronçon observé */
extern unsigned int NOBS;

/* Nombre minimal d'observations sur une tranche/tronçon pour la sortie
des résultats durée/débit par classe par tranche/tronçon */
extern unsigned int NDOBS;

/* Distances des tronçons */
extern float dist[mNT];

/* Enregistrement d'un véhicule */
extern unsigned int iv, jv, clv;
extern float vitv, hmv;

/* Conversion de l'heure en minutes en HH:MM:SS pour sortie */
extern char heure[10];

/***** INTERNE *****/

static int sep = '.';
float val;

/* Début de la déclaration des routines pour SIMDYN.C */

int lectparm(FILE *f)
(
    unsigned int a;

    if (lirenum(f) == EOF) {
        printf("MSG: Données incomplètes: Nombre de tronçons\n");
        return(EOF);
    }
    NT = (unsigned int) val;
/* DEBUGDEB
printf("NT = %d\n", NT);
DEBUGFIN */
    if (NT < 1) {
        printf("MSG: Nombre de tronçons doit être plus grand que zéro\n");
        return(EOF);
    }
    if (NT > mNT) {
        a = mNT;
        printf("MSG: Nombre maximal de tronçons (%2d) dépassé\n", a);
        return(EOF);
    }

    if (lirenum(f) == EOF) {
        printf("MSG: Données incomplètes: Nombre de classes de véhicule\n");
    }

```

Fichier : SDLECT.C

```

    return(EOF);
}
NC = (unsigned int) val;
/* DEBUGDEB
printf("NC = %d\n", NC);
DEBUGFIN */
if (NC < 1) {
    printf( "MSG: Nombre de classes de véhicule doit être plus grand que zéro\n");
    return(EOF);
}
if (NC > mNC) {
    a = mNC;
    printf( "%2d) dépassé\n", a);
    return(EOF);
}

if (lirenum(f) == EOF) {
    printf( "MSG: Données incomplètes: Nombre de minutes par tranche de temps\n");
    return(EOF);
}
DT = val;
/* DEBUGDEB
printf("DT = %f\n", DT);
DEBUGFIN */
if (DT <= 0.0) {
    printf( "MSG: Nombre de minutes par tranche doit être plus grand que zéro\n");
    return(EOF);
}

if (lirenum(f) == EOF) {
    printf( "MSG: Données incomplètes: Ordre maximal des E/S pour vitesse\n");
    return(EOF);
}
M = (unsigned int) val;
/* DEBUGDEB
printf("M = %d\n", M);
DEBUGFIN */
if (M < 1) {
    printf( "MSG: Ordre maximal des E/S pour vitesse doit être plus grand que zéro\n");
    return(EOF);
}
if (M >= NT) {
    printf( "MSG: Ordre maximal des E/S pour vitesse doit être plus petit que nombre de tronçons (%3d)\n",
NT);
    return(EOF);
}

if (lirenum(f) == EOF) {
    printf( "MSG: Données incomplètes: Nombre minimal d'observations/tronçon\n");
    return(EOF);
}
NOBS = (unsigned int) val;
/* DEBUGDEB
printf("NOBS = %d\n", NOBS);
DEBUGFIN */
if (NOBS < 1) {
    printf( "MSG: Nombre minimal d'observ./tronçon doit être plus grand que zéro\n");
    return(EOF);
}

if (lirenum(f) == EOF) {
    printf( "MSG: Données incomplètes: Nombre minimal d'observations/tranche/tronçon\n");
    printf( "pour les résultats durée/débit par classe\n");
    return(EOF);
}
NDOBS = (unsigned int) val;
/* DEBUGDEB
printf("NDOBS = %d\n", NDOBS);
DEBUGFIN */
if (NDOBS < 1) {
    printf( "MSG: Nombre minimal d'observ./tranche/tronçon doit être plus grand que zéro\n");

```

Fichier : SDLECT.C

```

    return(EOF);
}
if (NOBS < NDOBS) {
    printf( "MSG: Nombre minimal d'observ./tranche/tronçon doit être plus petit que\n");
    printf( "          nombre minimal d'observ./tronçon\n");
    return(EOF);
}
}

int lectdist(FILE *f)
{
    int i, ic;

    for (i=0; i<NT; i++) {
        dist[i] = -1.0;
    }

    for (i=0; i<NT; i++) {
        if (lirenum(f) == EOF) {
            printf( "MSG: Données incomplètes: Numéro de tronçon pour distance\n");
            return(EOF);
        }
        ic = (int) val - 1;
        /* DEBUGDEB
        printf("No tronçon = %d\n", ic+1);
        DEBUGFIN */
        if (ic < 0 || ic >= NT) {
            printf( "MSG: Le numéro de tronçon doit être compris entre 1 et %2d\n", NT);
            return(EOF);
        }
        if (dist[ic] != -1.0) {
            printf( "MSG: La distance du tronçon no %2d a déjà été fournie !\n", ic+1);
            return(EOF);
        }
        if (lirenum(f) == EOF) {
            printf( "MSG: Données incomplètes: Distance pour le tronçon no %2d\n", ic+1);
            return(EOF);
        }
        dist[ic] = val;
        /* DEBUGDEB
        printf("dist[%2d] = %f\n", ic, dist[ic]);
        DEBUGFIN */
        if (dist[ic] <= 0.0 && ic < NT-1) {
            printf( "MSG: La distance du tronçon no %2d doit être plus grande que zéro\n", ic+1);
            return(EOF);
        }
    }
    ic = 0;
    for (i=0; i<NT; i++) {
        if (dist[i] < 0.0) {
            printf( "MSG: La distance du tronçon no %2d n'a pas été fournie !\n", i+1);
            ic = 1;
        }
    }
    if (ic == 1) return(EOF);
}

int lectveh(FILE *f)
{
    /* DEBUGDEB
    static int numr = 0;
    DEBUGFIN */

    if (lirenum(f) == EOF) {
        return(EOF);
    }
    iv = ((unsigned int) val) - 1;
}

```

```

/* DEBUGDEB
numr++;
if (numr < 10) printf("iv = %d\n", iv);
DEBUGFIN */
if (iv < 0) {
    printf( "MSG: No de tronçon initial du trajet du véh. doit être plus grand que zéro\n");
    return(RECERR);
}
if (iv > (NT-2)) {
    printf( "MSG: No de tronçon initial du trajet du véh. doit être plus petit que %2d\n", NT);
    return(RECERR);
}

if (lirenum(f) == EOF) {
    printf( "MSG: No de tronçon final du trajet du véh. manquant !\n");
    return(RECERR);
}
jv = ((unsigned int) val) - 1;
/* DEBUGDEB
if (numr < 10) printf("jv = %d\n", jv);
DEBUGFIN */
if (jv < 0) {
    printf( "MSG: No de tronçon final trajet du véh. doit être plus grand que zéro\n");
    return(RECERR);
}
if (jv > (NT-1)) {
    printf( "MSG: No de tronçon final du trajet du véh. doit être plus petit ou égal à %2d\n", NT);
    return(RECERR);
}
if (jv <= iv) {
    printf( "MSG: No de tronçon final du trajet du véh. doit être plus grand que no tronçon initial\n");
    return(RECERR);
}

if (lirenum(f) == EOF) {
    +printf( "MSG: Vitesse du véh. manquante !\n");
    return(RECERR);
}
vitv = val;
/* DEBUGDEB
if (numr < 10) printf("vitv = %f\n", vitv);
DEBUGFIN */
if (vitv <= 0.0) {
    printf( "MSG: Vitesse du véh. doit être plus grande que zéro\n");
    return(RECERR);
}

if (lirenum(f) == EOF) {
    printf( "MSG: Heure de début du trajet du véh. manquante !\n");
    return(RECERR);
}
hmv = val;
/* DEBUGDEB
if (numr < 10) printf("hmv = %f\n", hmv);
DEBUGFIN */
if (hmv <= 0.0) {
    printf( "MSG: Heure du début du trajet du véh. doit être plus grand que zéro\n");
    return(RECERR);
}

if (lirenum(f) == EOF) {
    printf( "MSG: No de classe du véh. manquant !\n");
    return(RECERR);
}
clv = ((unsigned int) val) - 1;
/* DEBUGDEB
if (numr < 10) printf("clv = %d\n", clv);
DEBUGFIN */
if (clv < 0) {
    printf( "MSG: No de classe du véhicule doit être plus grand que zéro\n");
    return(RECERR);
}

```

```

}
if (clv >= NC) {
    printf( "MESG: No de classe du véhicule plus grand que le nombre de classe (%2d)\n", NC);
    return(RECERR);
}
}

```

```

int lectrecv(FILE *f)
{
    if (lirenum(f) == EOF) {
        return(EOF);
    }
    iv = ((unsigned int) val) - 1;
    lirenum(f);
    jv = ((unsigned int) val) - 1;
    lirenum(f);
    vitv = val;
    lirenum(f);
    hmv = val;
    lirenum(f);
    clv = ((unsigned int) val) - 1;
}

```

```

int strhr (float mm)
{
    int i, h, m, s;
    float ss;

    h = (int) ( mm/60.0);
    m = (int) (mm - 60.0 * ((float) (h)));
    ss = mm - ( 60.0 * ((float) (h)) + ((float) (m)));
    s = (int) (60.0 * ss);
    sprintf(heure,"%2d:%2d:%2d",h,m,s);
    for (i=0; i<9; i++) {
        if (heure[i] == ' ') heure[i] = '0';
    }
}

```

```

int lirenum(FILE *f)
{
    int c, flg;
    float fact, sign;

    val = 0.;
    flg = 0;
    sign = 1.0;
    while (flg == 0) {
        if ( (c = getc(f)) == EOF) return (EOF);
        if ( (c >= '0' && c <= '9') || (c == sep)) flg = 1;
        if ( c == 'C' || c == 'c')
            while ( (c = getc(f)) != '\n') ;
        if ( c == '-' ) sign = - 1.0;
    }
    if (c != sep) {
        val = (float) (c - '0');
        flg = 0;
        while (flg == 0) {
            if ( (c = getc(f)) == EOF) {
                val = sign * val;
                return (1);
            }
            if ( c < '0' || c > '9') {
                flg = 1;
            }
        }
    }
}

```

Fichier : SDLECT.C

```
    }
    else {
        val = val*10. + (float) (c - '0');
    }
}
}
if (c != sep) {
    val = sign * val;
    return (1);
}
flg = 0;
fact = 0.1;
while (flg == 0) {
    if ( (c = getc(f)) == EOF) {
        val = sign * val;
        return (1);
    }
    if ( c < '0' || c > '9') {
        flg = 1;
    }
    else {
        val = val + (((float) (c - '0')) * fact);
        fact = fact * 0.1;
    }
}
val = sign * val;
return (1);
}
```

```

/* Phase 3 du programme SIMDYN */

#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include "simdyn.h"

/***** DONNEES DE BASE *****/

/* Nombre de tronçons */
extern unsigned int NT;

/* Nombre de classes */
extern unsigned int NC;

/* Longueur d'une tranche de temps en minutes */
extern float DT;

/* Ordre maximal des E/S à traiter pour la vitesse moyenne auto */
extern unsigned int M;

/* Nombre minimal d'observations sur un tronçon pour qu'il soit
déclaré tronçon observé */
extern unsigned int NOBS;

/* Nombre minimal d'observations sur une tranche/tronçon pour la sortie
des résultats durée/débit par classe par tranche/tronçon */
extern unsigned int NDOBS;

/* Distances des tronçons */
extern float dist[mNT];

/* Enregistrement d'un véhicule */
extern unsigned int iv, jv, clv;
extern float vitv, hmv;

/* Conversion en HH:MM:SS pour sortie */
extern char heure[10];

/*****

/* Nombre de tranches de temps déterminé après lecture des véhicules */
extern unsigned int L;

/* Heure de début en minutes déterminé après lecture des véhicules */
extern float hdeb;

/* Pointeurs des vecteurs pour les résultats */
extern unsigned int *fauto;
extern float *vit;
extern float *tdur;
extern unsigned int *Fveh[mNC];

int phase3(int nuvoid)
(
/* Vecteurs temporaires */
/* Indicateur pour chaque tronçon indiquant si c'est un tronçon
observé pour les vitesses moyennes ou bien un tronçon manquant,
l'indicateur sert à poursuivre le type
d'extrapolation/intrapolation à effectuer sur les vitesses moyennes */
unsigned int ex[mNT];

/* Variables de travail */

unsigned int ii, ll;
unsigned int tf;
unsigned int lmin, lmax, ldeb, lfin, llong, lll;
float totdur, vinc, v1, v2;
unsigned int ideb, ifin, iifin, iideb, iii;

```

```

/* Déterminer les vitesses moyennes pour les observations relevés */
for (ii=0; ii<NT; ii++) {
  for (ll=0; ll<L; ll++) {
    if ((* (Tdur+ii*mL+ll)) > 0.0) {
      tf = (*(fauto+ii*mL+ll));
      totdur = *(Tdur+ii*mL+ll);
      *(vit+ii*mL+ll) = (60.0*tf*dist[ii]) / totdur;
    }
    else {
      *(vit+ii*mL+ll) = 0.0;
    }
  }
}
/* DEBUGDEB
printf("\n Vecteur vit initialisé par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
  printf(" %d", ll);
  for (ii=0; ii<NT; ii++) printf(" %f", *(vit+ii*mL+ll));
  printf("\n");
}
DEBUGFIN */
/* Déterminer les tronçons observés */
for (ii=0; ii<NT; ii++) {
  ex[ii] = MANQUANT;
  tf = 0;
  for (ll=0; ll<L; ll++) {
    tf += *(fauto+ii*mL+ll);
  }
  if ( tf >= NOBS) ex[ii] = OBSERVE;
}
tf = 0;
for (ii=0; ii<NT; ii++) {
  tf += ex[ii];
}
if (tf < OBSERVE) {
  printf( "Les observations sont insuffisantes !\n");
  printf( " tous les tronçons ont moins de %d observations\n ARRET du PGM\n", NOBS);
  return (NONOBS);
}
/* Extrapoler/Intrapoler sur les tronçons observés */
for (ii=0; ii<NT; ii++) {
  if (ex[ii] == OBSERVE) {
    /* Extrapolation */
    lmin = 0;
    while ((* (vit+ii*mL+lmin)) == 0.0) lmin++;
    lmax = L-1;
    while ((* (vit+ii*mL+lmax)) == 0.0) lmax--;
    for (ll=0; ll<lmin; ll++) {
      *(vit+ii*mL+ll) = *(vit+ii*mL+lmin);
    }
    for (ll=L-1; ll>lmax; ll--) {
      *(vit+ii*mL+ll) = *(vit+ii*mL+lmax);
    }
    /* Intrapolation */
    ll = lmin + 1;
    while (ll < lmax) {
      if ((* (vit+ii*mL+ll)) == 0.0) {
        ldeb = ll - 1;
        ll++;
        while ((* (vit+ii*mL+ll)) == 0.0) ll++;
        lfin = ll;
        llong = lfin - ldeb;
        v1 = *(vit+ii*mL+ldeb);
        v2 = *(vit+ii*mL+lfin);
        vinc = (v2 - v1) / ((float) llong);
        for (lll=ldeb+1; lll<lfin; lll++) {
          *(vit+ii*mL+lll) = v1 + (((float) (lll - ldeb))*vinc);
        }
      }
    }
  }
  else {

```

Fichier : SDPHAS3.C

```
        ll++;
    }
}
}
/* Extrapoler/Intrapoler sur les tronçons manquants */
/* Extrapolation */
ideb = 0;
if (ex[ideb] == MANQUANT) {
    while (ex[ideb] == MANQUANT) ideb++;
    for (ii=0; ii<ideb; ii++){
        for (ll=0; ll<L; ll++){
            *(vit+ii*mL+ll) = *(vit+ideb*mL+ll);
        }
    }
}
ifin = NT - 1;
if (ex[ifin] == MANQUANT) {
    while (ex[ifin] == MANQUANT) ifin--;
    for (ii=NT-1; ii>ifin; ii--){
        for (ll=0; ll<L; ll++){
            *(vit+ii*mL+ll) = *(vit+ifin*mL+ll);
        }
    }
}
/* Intrapolation */
ii = ideb+1;
while (ii < ifin) {
    if (ex[ii] == MANQUANT) {
        iideb = ii - 1;
        while (ex[ii] == MANQUANT) ii++;
        iifin = ii;
        llong = iifin - iideb;
        for (ll=0; ll<L; ll++){
            v1 = *(vit+iideb*mL+ll);
            v2 = *(vit+iifin*mL+ll);
            vinc = (v2 - v1)/(float) (llong);
            for (iii=iideb+1; iii<iifin; iii++){
                *(vit+iii*mL+ll) = v1 + ((float) (iii - iideb))*vinc;
            }
        }
    }
    else {
        ii++;
    }
}
/* DEBUGDEB
printf("\n Vecteur vit traité pour extra/intrapolation par tranche de temps\n");
for (ll=0;ll<L;ll++){
    printf(" %d",ll);
    for (ii=0; ii<NT; ii++) printf(" %f", *(vit+ii*mL+ll));
    printf("\n");
}
/* DEBUGFIN */
return(0);
}
```

```

/* Phase 4 du programme SIMDYN */

#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include "simdyn.h"

/***** DONNEES DE BASE *****/

/* Nombre de tronçons */
extern unsigned int NT;

/* Nombre de classes */
extern unsigned int NC;

/* Longueur d'une tranche de temps en minutes */
extern float DT;

/* Ordre maximal des E/S à traiter pour la vitesse moyenne auto */
extern unsigned int M;

/* Nombre minimal d'observations sur un tronçon pour qu'il soit
déclaré tronçon observé */
extern unsigned int NOBS;

/* Nombre minimal d'observations sur une tranche/tronçon pour la sortie
des résultats durée/débit par classe par tranche/tronçon */
extern unsigned int NDOBS;

/* Distances des tronçons */
extern float dist[mNT];

/* Enregistrement d'un véhicule */
extern unsigned int iv, jv, clv;
extern float vitv, hmv;

/* Conversion en HH:MM:SS pour sortie */
extern char heure[10];

/*****/

/* Nombre de tranches de temps déterminé après lecture des véhicules */
extern unsigned int L;

/* Heure de début en minutes déterminé après lecture des véhicules */
extern float hdeb;

/* Pointeurs des vecteurs pour les résultats */
extern unsigned int *fauto;
extern float *vit;
extern float *Tdur;
extern unsigned int *Fveh[mNC];

int phase4(FILE *f)
{
/* Vecteurs temporaires */

/* Tranche de temps de passage sur chaque tronçon parcouru par un
véhicule */
unsigned int ldex[mNT];

/* Heure de passage d'un véhicule sur chaque tronçon de son trajet */
float th[mNT];

/* Variables de travail */

long int nbrec, nbpon, nbmoy;
unsigned int ii, ll, k;
float dij, vitm, tdv;
unsigned int nocl;

```

```

float tm, alpha, gamma[mNT];

for (ii=0; ii<NT; ii++) {
  for (ll=0; ll<L; ll++) {
    *(Tdur+ii*mL+ll) = 0.0;
    for (nocl=0; nocl<NC; nocl++) {
      *(Fveh[nocl]+ii*mL+ll) = 0;
    }
  }
}
/* DEBUGDEB
printf("\n Vecteur Fveh initialisé par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
  printf("\n tranche %d\n", ll);
  for (ii=0; ii<NT; ii++) {
    printf("   tronçon %d:", ii);
    for (nocl=0; nocl<NC; nocl++) printf(" %d", *(Fveh[nocl]+ii*mL+ll));
    printf("\n");
  }
}
printf("\n Vecteur Tdur initialisé par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
  printf(" %d", ll);
  for (ii=0; ii<NT; ii++) printf(" %f", *(Tdur+ii*mL+ll));
  printf("\n");
}
DEBUGFIN */
nbrec = 0L;
nbpon = 0L;
nbmoy = 0L;
while( lectrecv(f) != EOF ) {
  nbrec++;
  /* Passe 1 : Cheminement du trajet dans le temps sur les
  tronçons empruntés selon les vitesses moyennes
  par tronçon et tranche de temps */
  dij = dist[iv];
  ldex[iv] = (unsigned int) ((hmv - hdeb) / DT);
  if (ldex[iv] >= L) {
    printf(" AVERTISSEMENT: Débordement de tranche de temps contenu !\n");
    printf("   Phase 4 - Passe 1 pour Véhicule no.: %ld sur tronçon no.: %d\n", nbrec, iv+1);
    ldex[iv] = L-1;
  }
  ll = ldex[iv];
  vitm = *(vit+iv*mL+ll);
  th[iv] = 60.0 * dist[iv] / vitm;
  for (k=iv+1; k<jv; k++) {
    dij += dist[k];
    ldex[k] = (unsigned int) ((hmv + th[k-1] - hdeb) / DT);
    if (ldex[k] >= L) {
      printf(" AVERTISSEMENT: Débordement de tranche de temps contenu !\n");
      printf("   Phase 4 - Passe 1 pour Véhicule no.: %ld sur tronçon no.: %d\n", nbrec, k+1);
      ldex[k] = L-1;
    }
    vitm = *(vit+k*mL+ldex[k]);
    th[k] = th[k-1] + (60.0 * dist[k] / vitm);
  }
  /* Passe 2 : Cheminement du trajet en tenant compte de la
  correction pour conserver le temps total du
  trajet du véhicule (alpha) */
  tdv = 60.0 * dij / vitv;
  alpha = th[jv-1] / tdv;
  /* Calcul de la borne supérieure minimale */
  for (k=iv; k<jv; k++) {
    vitm = *(vit+k*mL+ldex[k]);
    gamma[k] = 120.0 / vitm;
    tm = vitv / vitm;
    if (gamma[k] < tm) gamma[k] = tm;
  }
}

```

```

/* Si la borne supérieure est dépassée alors on utilise
   la vitesse moyenne de tout le trajet
   Sinon on utilise la pondération normalisée par tronçon */
tm = 1000.0;
for (k=iv; k<jv; k++) {
    if (tm > gamma[k]) tm = gamma[k];
}
if ( alpha <= tm) {
    nbpon++;
    vitm = *(vit+iv*mL+ldex[iv]);
    th[iv] = (60.0 * dist[iv]) / (alpha * vitm);
    for (k=iv+1; k<jv; k++) {
        ldex[k] = (unsigned int) ((hmv + th[k-1] - hdeb) / DT);
        if (ldex[k] >= L) {
            printf(" AVERTISSEMENT: Débordement de tranche de temps contenu !\n");
            printf(" Phase 4 - Passe 2 pour Véhicule no.: %ld sur tronçon no.: %d\n", nbrec, k+1);
            ldex[k] = L-1;
        }
        vitm = *(vit+k*mL+ldex[k]);
        th[k] = th[k-1] + ((60.0 * dist[k]) / (alpha * vitm));
    }
}
else {
    nbmoy++;
    th[iv] = tdv * dist[iv] / dij;
    for (k=iv+1; k<jv; k++) {
        ldex[k] = (unsigned int) ((hmv + th[k-1] - hdeb) / DT);
        if (ldex[k] >= L) {
            printf(" AVERTISSEMENT: Débordement de tranche de temps contenu !\n");
            printf(" Phase 4 - Passe 2 pour Véhicule no.: %ld sur tronçon no.: %d\n", nbrec, k+1);
            ldex[k] = L-1;
        }
        th[k] = th[k-1] + (tdv * dist[k] / dij);
    }
}
/* Incrémentation du débit de une unité suivant les tronçons
   empruntés et les tranches de temps localisées et suivant la
   classe de véhicules */
for (k=iv; k<jv; k++) {
    (*(Fveh[clv]+k*mL+ldex[k]))++;
}
/* Incrémentation du temps total sur chaque tronçon pour le véhicule
   si celui-ci est une automobile */
if (clv == 0) {
    *(Tdur+iv*mL+ldex[iv]) += th[iv];
    for (k=iv+1; k<jv; k++) {
        *(Tdur+k*mL+ldex[k]) += (th[k] - th[k-1]);
    }
}
}
/* DEBUGDEB
printf("\n Vecteur Fveh après traitement par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
    printf("\n tranche %d\n", ll);
    for (ii=0; ii<NT; ii++) {
        printf(" tronçon %d:", ii);
        for (nocl=0; nocl<NC; nocl++) printf(" %d", *(Fveh[nocl]+ii*mL+ll));
        printf("\n");
    }
}
printf("\n Vecteur Tdur après traitement par tranche de temps\n");
for (ll=0; ll<L; ll++) {
    printf(" %d", ll+1);
    for (ii=0; ii<NT; ii++) printf(" %f", *(Tdur+ii*mL+ll));
    printf("\n");
}
DEBUGFIN */
printf(" \n Nombre total de véhicules traités: %ld\n", nbrec);
printf(" Nombre de véhicules traités par pondération des vitesses sur tronçon: %ld\n", nbpon);
printf(" Nombre de véhicules traités par vitesse moyenne globale: %ld\n", nbmoy);
fclose(f);

```

Fichier : SDPRODR.C

```

/* Routines nécessaires pour les résultats dans le programme SIMDYN.C */
#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include "simdyn.h"

/***** DONNEES DE BASE *****/

/* Nombre de tronçons */
extern unsigned int NT;

/* Nombre de classes */
extern unsigned int NC;

/* Longueur d'une tranche de temps en minutes */
extern float DT;

/* Ordre maximal des E/S à traiter pour la vitesse moyenne auto */
extern unsigned int M;

/* Nombre minimal d'observations sur un tronçon pour qu'il soit
   déclaré tronçon observé */
extern unsigned int NOBS;

/* Nombre minimal d'observations sur une tranche/tronçon pour la sortie
   des résultats durée/débit par classe par tranche/tronçon */
extern unsigned int NDOBS;

/* Distances des tronçons */
extern float dist[mNT];

/* Enregistrement d'un véhicule */
extern unsigned int iv, jv, clv;
extern float vitv, hmv;

/* Conversion en HH:MM:SS pour sortie */
extern char heure[10];

/*****/

/* Nombre de tranches de temps déterminé après lecture des véhicules */
extern unsigned int L;

/* Heure de début en minutes déterminée après lecture des véhicules */
extern float hdeb;

/* Pointeurs des vecteurs pour les résultats */
extern unsigned int *fauto;
extern float *vit;
extern float *Tdur;
extern unsigned int *Fveh[mNC];

/*****/
unsigned int llast;

int prodr1(FILE *f)
{
    unsigned int lvcmin[mNT];
    float hmin;
    unsigned int ii, ll, totveh;
    unsigned int nocl;
    float tt, tm, vitm, totdur;

    lvcmin[0] = 0;
    ll = 0;
    tt = 0.0;
    for (ii=1; ii<NT-1; ii++) {
        vitm = (*(vit+(ii-1)*mL+ll));
        tt += (60.0 * dist[ii-1] / vitm);
        ll = (unsigned int) (tt / DT);
        lvcmin[ii] = ll;
    }
}

```

Fichier : SDPRODR.C

```

}
/* Lister les couples délai/débits par classe observés */
for (ii=0; ii<NT-1; ii++) {
  for (ll=lvcmn[ii]; ll<L; ll++) {
    totdur = *(Tdur+ii*mL+ll);
    /* Prendre le nombre total d'automobiles nocl = 0 */
    totveh = *(Fveh[0]+ii*mL+ll);
    if (totveh > 0) {
      tm = totdur / (dist[ii]*totveh);
    }
    hmin = hdeb + ((float) (ll))*DT;
    strhr(hmin);
    if (*(fauto+ii*mL+ll) >= NDOBS) {
      vitm = *(vit+ii*mL+ll);
      tt = 60.0 / vitm;
      fprintf (f, "%6.2f \t%5d \t%6.2f \t%s \t%3d", tt, *(fauto+ii*mL+ll), tm, heure, ii+1);
    }
    else {
      if (totveh > 0) {
        fprintf (f, " \t \t%6.2f \t%s \t%3d", tm, heure, ii+1);
      }
    }
    if (totveh > 0) {
      for (nocl=0; nocl<NC; nocl++) {
        fprintf(f, " \t%5d", *(Fveh[nocl]+ii*mL+ll));
      }
      fprintf (f, "\n");
    }
  }
}
}
fclose(f);
printf( "Fichier 1 de résultats OK\n");
}

```

```

int prodr2(FILE *f)
{
float hmin;
unsigned int ii, ll, totveh, totv, nocl;
float tt, totdur;

llast = L;
totveh = 0;
while (totveh == 0) {
  llast--;
  for (ii=0; ii<NT; ii++) {
    totv = 0;
    for (nocl=0; nocl<NC; nocl++) {
      totv += *(Fveh[nocl]+ii*mL+llast);
    }
    if (totv > totveh) totveh = totv;
  }
}
for (ll=0; ll<=llast; ll++) {
  hmin = hdeb + ((float) (ll))*DT;
  strhr(hmin);
  fprintf (f, "%s", heure);
  for (ii=0; ii<NT-1; ii++) {
    totdur = *(Tdur+ii*mL+ll);
    if (totdur > 0.0) {
      totveh = *(Fveh[0]+ii*mL+ll);
      tt = (60.0 * totveh * dist[ii]) / totdur;
      fprintf (f, " \t%5.1f", tt);
    }
    else {
      fprintf (f, " \t ND");
    }
  }
  fprintf (f, "\n");
}
fclose(f);
}

```

Fichier : SDPRODR.C

```
printf( "Fichier 2 de résultats : OK\n");
)

int prodr3(FILE *f)
{
float hmin;
unsigned int ii, ll, nocl;
unsigned int tf, totveh;

for (ll=0; ll<llast; ll++) {
hmin = hdeb + ((float) (ll))*DT;
strhr(hmin);
fprintf (f, "%s", heure);
for (ii=0; ii<NT-1; ii++) {
tf = 0;
for (nocl=0; nocl<NC; nocl++) {
totveh = *(Fveh[nocl]+ii*mL+ll);
tf += totveh;
}
fprintf (f, " \t%5d", tf);
}
fprintf (f, "\n");
}
fclose(f);
printf( "Fichier 3 de résultats : OK\n");
)
```

