

# PRÉVISION DU DÉBIT DU TRAFIC A QUELQUES DIZAINES DE MINUTES

Tannie STOVALL, Tamer AL HAFEZ  
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
Paris - FRANCE

## INTRODUCTION

La prévision du débit du trafic interurbain à quelques dizaines de minutes sur route ou autoroute n'est pas une tâche facile.

Le débit de la circulation a une composante stochastique due à la matière aléatoire des temps intervéhiculaires. Le processus peut être perturbé par des incidents. On observe dans certains cas un comportement chaotique de la circulation [1] ce qui indique que de très faibles perturbations peuvent engendrer des situations extrêmes allant des débits fluides aux congestions les plus denses. Certains processus de trafic semblent régis par la théorie des catastrophes [2].

De ces remarques découlent la question suivante : dans quelles mesures peut-on prévoir la circulation ?

Rappelons que l'intérêt de la prévision est différent suivant le temps auquel elle est faite.

Les prévisions de l'ordre de quelques minutes permettent de limiter les phénomènes de congestion sur les autoroutes en fournissant au gestionnaire l'information nécessaire pour gérer le contrôle des entrées sur le réseau.

Pour cela la prévision doit être rapide (de l'ordre de 10 minutes) et précise.

Les prévisions proposant des temps plus longs de l'ordre d'une heure, permettent de mettre en place des actions de plus grande ampleur, mobilisant les forces de l'ordre ou les services de gestion de l'autoroute. Il peut s'agir alors de délester le réseau ou d'adapter au trafic le nombre de postes ouverts aux gares de péage.

## 1. PRÉSENTATION DE DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PRÉVISION

La méthode de prévision du débit de trafic à court terme la plus évidente consiste à suivre pas à pas la circulation à l'aide d'une série de capteurs implantés en amont du site de prévision.

Dans le cas trivial d'une route monovoie présentant un seul sens de circulation et sans aucune connexion avec un réseau extérieur, le trafic prévisible en un point à un temps  $T$  est égale au trafic actuellement présent à une distance  $VT$  en amont ( $V$  étant la vitesse moyenne des véhicules). Cette méthode peut être affinée en tenant compte de l'hétérogénéité du flux de circulation en introduisant une relation liant le débit et la vitesse.

D'autres méthodes consistent à assimiler la circulation routière à la propagation d'un fluide dans un réseau de tuyaux. La circulation est alors régie par les lois de l'hydrodynamique. Ces méthodes permettent de décrire les paramètres du trafic dans le réseau à partir des valeurs aux entrées, mais elles n'ont pas été développées pour réaliser une prévision pour un site et à un temps précis.

Dans le cas d'un réseau dense, il est nécessaire de posséder un nombre important de capteurs judicieusement placés et une puissance de calcul non moins importante.

Notons que la défaillance de certains capteurs peut avoir des conséquences des plus néfastes sur la prévision.

sur le réseau ou ses abords peut créer quelques fluctuations par rapport au profil de trafic attendu. Néanmoins, en excluant les jours où le trafic est perturbé par des intempéries météorologiques et des incidents importants, le nombre de classes pour le trafic interurbain reste limité, de l'ordre d'une dizaine.

Cette constatation va servir de base à une méthode de prévision à court terme qui présente l'avantage de nécessiter un seul capteur. On peut envisager qu'elle vienne en complément de la méthode classique par propagation et que même dans certaines configurations elle assure seule la prévision.

## 2. LA MÉTHODE DES PROFILS TYPES

Considérons un réseau routier où sont implantés  $N$  capteurs localisés aux points  $P_i$  qui réalisent une mesure de débit tous les  $\Delta t$ . Typiquement  $\Delta t$  est égal à 30 secondes, 1, 2, 5, 6, 10, 15, 30 ou 60 minutes. A un instant  $t$ , il est possible de prévoir le débit de

trafic qui sera présent au point  $P_N$  à l'instant  $t+T$ . La prévision  $F_t^{T,C}$  est calculée par combinaison linéaire des débits de trafic mesurés par les  $N$  capteurs à l'instant  $t$  et pour  $M-1$  temps antérieurs, en ayant préalablement rattaché le profil courant à la classe de profil  $C$ .

$$F_t^{T,C} = \sum_k^N A_{t,k}^{T,C} V_{t,k}$$

$V_{t,k}$  est une matrice colonne de taille  $M$  dont le  $i^{\text{ème}}$  élément est le débit de trafic mesuré par le compteur  $k$  au temps  $t-i\Delta t$

$A_{t,k}^{T,C}$  est une matrice ligne de taille  $M$  calculée à partir du profil moyen de la classe  $C$  déterminé à l'aide des données historiques.

Le processus peut se décomposer en trois étapes successives :

- détermination des classes de profils de débit,
- calcul des matrices  $A$ ,
- classification du profil de trafic courant et réalisation de la prévision.

Ce type de modèle de prévision a déjà été utilisé sous cette forme [3] ainsi que sous des formes similaires en se basant sur l'analyse des séries chronologiques et le filtrage de Kalman [4]. Mais leur principale faiblesse est de donner une prévision erronée lorsque les paramètres du trafic sont perturbés par un incident.

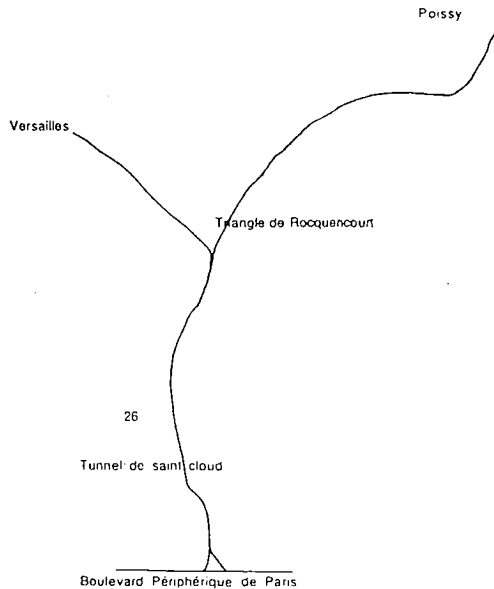
Le modèle qui est présenté dans cette communication propose une solution à ce problème.

### 3. PRÉSENTATION DU MODELE ET DISCUSSION SUR LA PRÉCISION DE LA PRÉVISION

#### 3.1 Le réseau

L'étude a porté sur une partie du réseau SIRIUS comprenant un tronçon de l'autoroute A13 de Poissy au boulevard périphérique de Paris et un tronçon de l'autoroute A12 depuis sa connection avec A13 au triangle de Rocquencourt jusqu'à Versailles (fig. 1). Les données exploitées nous ont été fournies par le SIER (Service Interdépartemental d'Exploitation Routière) de la DREIF (Direction Régionale de l'Équipement d'Ile de France) au PC de Boulogne.

Figure 1 : Schéma du réseau



Nous tentons de prédire le débit sur A13 en direction de Paris à 30, 60, 90 et 120 minutes en un point du réseau. Pour cette première tentative de prévision nous avons seulement utilisé les informations fournies au poste de comptage référencé 26. Le poste 26 est situé sur A13, pratiquement à mi-chemin entre l'échangeur de Rocquencourt et le boulevard périphérique. Les capteurs installés sur le réseau étudié fournissent :

- les comptages des véhicules à 6 minutes,  $d_{m6}$ ,
- les taux d'occupation au sol,
- les vitesses moyennes.

Le comptage de véhicules est le paramètre le plus fiable et on en déduit facilement un débit horaire.

Actuellement les modèles de prévision que nous avons mis au point utilisent uniquement ces valeurs de débit horaire.

### 3.2 Détermination des classes de profils de débit

Les données de départ sont les profils journaliers de débits horaires instantanés mesurés toutes les 6 minutes.

Ces profils sont perturbés par des variations très rapides des débits que l'on peut classer en trois catégories. Il peut s'agir :

- de fluctuations statistiques dues au caractère aléatoire de la circulation,
- d'incidents à proprement parlé tels qu'un ralentissement qui entraîne une forte baisse du débit,
- de pannes momentanées du capteur.

Nous avons éliminé tous les profils journaliers présentant des pannes de capteurs, on les détecte facilement car le débit est nul pendant plus d'une heure.

Les profils de débits mesurés toutes les 6 minutes ont été moyennés par pas de 30 minutes afin de réduire de façon importante la composante aléatoire du trafic.

Pour déterminer les classes de débit deux méthodes de classification automatique (la méthode des centres mobiles et la classification hiérarchique) ont été testées. Elles donnent toutes les deux des résultats similaires pour les prévisions. Les résultats de la classification par des méthodes automatiques sont erratiques du fait qu'une part importante du trafic sur A13 est perturbée par des incidents.

Une solution pour améliorer le résultat, consisterait à réaliser avant la classification une correction de tous les profils en détectant les périodes incidents et en reconstituant par extrapolation les débits manquants. Ceci devrait constituer notre prochain axe de recherche dans les mois à venir, il semblerait judicieux d'utiliser les taux d'occupation.

Pour le moment nous avons opté pour une classification a priori suivant les jours de la semaine. Cette option donne de bons résultats si on classe tous les jours fériés comme des dimanches et les veilles de jours fériés comme des lundis.

Pour le calcul des profils moyens des classes, nous avons mis au point une méthode de détection des incidents basée sur l'hypothèse que le débit du trafic est un processus aléatoire qui suit une loi de Poisson [5].

L'écart-type par rapport à la moyenne  $M$  est  $\sqrt{M}$ . Ainsi dans l'intervalle  $[M - \sqrt{M}, M + \sqrt{M}]$  la probabilité d'occurrence d'un événement est de l'ordre de 65 % et respectivement pour les intervalles  $[M - 2\sqrt{M}, M + 2\sqrt{M}]$  et  $[M - 3\sqrt{M}, M + 3\sqrt{M}]$  de l'ordre de 95 % et 99 %.

Après avoir calculé un premier profil moyen de classe, on réexamine tous les profils de la classe pour éliminer les incidents en prenant le critère suivant : en présence d'un incident l'écart entre le débit mesuré moyenné sur 30 minutes  $d_{m30}$  et le débit du profil moyen  $d_C$  de la classe est supérieur à  $2\sqrt{d_C}$ . Le profil moyen de classe est alors recalculé en ne tenant compte que des profils des débits corrigés.

### 3.3 Calcul des matrices A

Rappelons que la prévision  $F_t^{T,C}$  à un instant  $t$  du débit à un instant  $t+T$  est réalisée par combinaison linéaire des débits de trafic mesurés pour  $N$  capteurs à l'instant  $t$  et pour  $M-1$  temps antérieurs à l'aide de la formule suivante :

$$F_t^{T,C} = \sum_k^N A_{t,k}^{T,C} V_{t,k}$$

Les matrices  $A_{t,k}^{T,C}$  sont déterminées à partir de données historiques propres au profil moyen de la classe C.

Nous avons testé trois modèles de prévision de débit qui diffèrent par l'algorithme de calcul de la matrice A et le nombre de mesures de débit antérieures prises en compte. Pour le modèle A l'algorithme de calcul utilisé est une simple proportion, par contre pour les modèles B et C il s'agit d'un algorithme classique de régression linéaire par la méthode des moindres carrés.

	Algorithme	Nombre de mesures	Instant
Méthode A	Proportion	1	t
Méthode B	régression linéaire	1	t
Méthode C	régression linéaire	3	t, t-30, t-60

Les prévisions étant réalisées pour des temps T égaux à 30, 60, 90 et 120 minutes.

### 3.4 Classification du profil de trafic courant et réalisation de la prévision

Pour réaliser une prévision de débit à un instant t, il faut d'abord rattacher à une classe C le profil de débit courant pour sélectionner la matrice  $A_{t,k}^{T,C}$ .

Nous avons utilisé deux procédures différentes pour déterminer la classe du trafic courant.

La première procédure consiste à calculer la "distance" d entre le profil courant et les profils moyens de chaque classe et d'affecter le profil à la classe pour laquelle la distance d est minimale.

$$d = \sum_{i < t} \omega_i (C_i^0 - C_i^C)^2$$

où  $C_i^0$  et  $C_i^C$  sont les débits horaires fournis par le profil courant et le profil moyen de la classe C à l'instant i.

Le facteur  $\omega_i$  est un facteur de poids qui permet de favoriser le trafic plus ou moins récent. Dans le cas présent nous avons pris  $\forall i \omega_i = 1$ .

Cette procédure donne souvent des résultats aberrants du fait de la présence d'incidents. Comme pour les méthodes de classification automatique nous ne pourrons l'utiliser efficacement que lorsque nous aurons une méthode de correction des incidents.

La deuxième procédure consiste à faire une classification en fonction du calendrier. En effet 7 classes ont été définies une pour chaque jour de la semaine.

Cette procédure donne des résultats satisfaisants sur les données du réseau A12, A13 pourvu que tous les jours fériés soient considérés comme des dimanches et les lendemains comme des lundis.

Une fois déterminée la classe du trafic correspondant au trafic courant, on peut réaliser la prévision  $F_t^{T,C}$  à l'instant  $t+T$  en tenant compte des incidents. Cette prise en compte des incidents est réalisée en deux étapes : primo il faut les détecter, secundo il faut corriger de façon appropriée la procédure de prévision.

Les profils de débits mesurés toutes les 6 minutes présentent des fluctuations de débit très brutales car les incidents correspondent à de fortes chutes de débit. Leur détection est basée sur la constatation que à ces moments là, le débit courant  $C_i$  est très

inférieur au débit prédit  $C_i^D$  et au débit courant moyenné sur 30 minutes  $C_i^m$ . Soient les deux rapports  $R_1$  et  $R_2$  :

$$R_1 = \frac{C_i^m}{C_i} \quad R_2 = \frac{C_i^D}{C_i}$$

De façon empirique nous avons déterminé que pour le réseau étudié, un incident se produisait lorsque la relation suivante était vérifiée :

$$0,425.R_1.R_2 > 1$$

Cette relation est purement AD HOC et ne se justifie que par son succès.

Une fois un incident détecté, le débit correspondant n'est pas utilisé pour réaliser la prévision car cela entraînerait forcément une prévision aberrante.

On utilisera pour la prévision, la valeur de débit prévisible à partir des valeurs de débit antérieures à l'incident.

### 3.5 Comparaison des trois modèles de prévision et précision des résultats

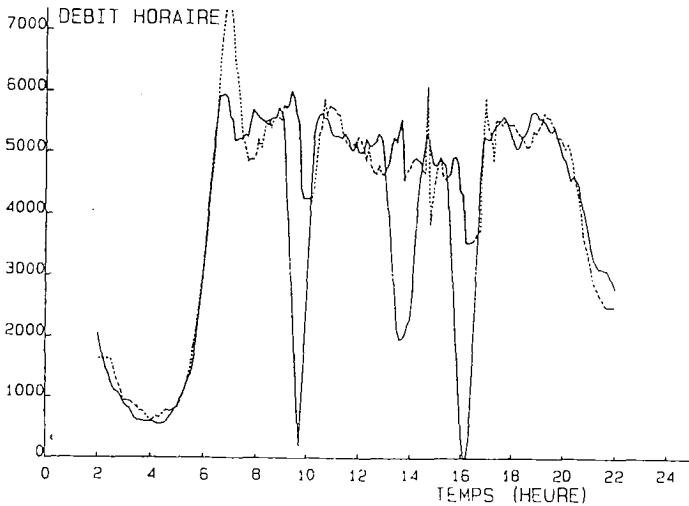
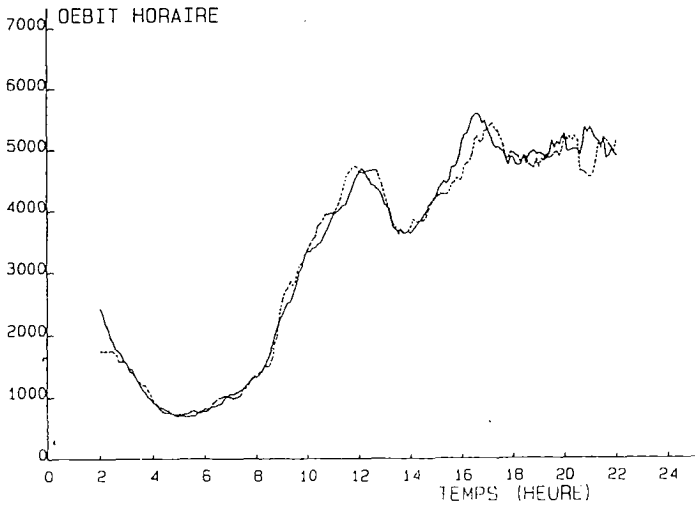
Les différents modèles de prévision testés ont été calibrés avec les valeurs de débit mesurés pendant la période allant du 1<sup>er</sup> janvier au 30 avril 1990. Les données du mois de mai 1990 ont servi à valider les modèles. Nous avons du exclure des données les journées du 24 et 25 mai par suite d'une panne du système de comptage.

Pour les jours restants, nous avons calculé les prévisions de débit à 30, 60, 90 et 120 minutes à partir des débits moyennés sur 30 minutes  $d_{m30}$  sur la période de 2 heures à 22 heures. Deux exemples de profils journaliers permettent d'illustrer ces prévisions de débits.

Les figures 2 et 3 présentent les profils journaliers mesurés  $d_{m30}$  et les prévisions à 30 minutes utilisant le modèle A pour un dimanche et un jour ouvrable. La figure 3 correspond à un jour particulièrement perturbé par des incidents.

Nous avons calculé pour chacun des trois modèles les racines carrées de la moyenne des carrés des écarts exprimés en pourcentage de débit (les écarts rms) entre les débits observés  $d_{m30}$  et les prévisions (tableau 1). Notons que nous avons exclu lors du calcul de ces statistiques les valeurs correspondants aux périodes où un incident a été détecté.

Figure 2 : Journée du 20 mai 1990, Figure 3 : Journée du 28 mai 1990 ; profil journaliser moyenne sur 30 minutes (trait fin) et prévision à 30 minutes pour le modèle A (trait discontinu) avec détection des incidents (trait épais)



	Prévisions à 30 minutes	Prévisions à 60 minutes	Prévisions à 90 minutes	Prévisions à 120 minutes
Modèle A	8.4	12.8	17.2	21.4
Modèle B	8.4	13.2	17.4	21.4
Modèle C	9.4	13.4	17.4	20.3

Tableau 1 : Racines carrées de la moyenne des carrés des écarts exprimés en pourcentage de débits pour les trois modèles de prévision testés

Les résultats obtenus à partir des trois modèles ne sont pas significativement différents.

Nous avons représenté pour le modèle A les écarts rms pour des prévisions à 30 et 60 minutes, fonction des différents jours du mois de mai (fig. 4) et fonction des différentes heures de la journée (fig. 5). La précision de la prévision est de l'ordre de 10 %. Les distributions des écarts en pourcentage de débit pour les quatre différents temps de prévision sont bien centrées autour de la valeur nulle mais elles présentent une dissymétrie indiquant que les prévisions ont plutôt tendance à surévaluer le débit du trafic (fig. 6).

Figure 4 : Les écarts rms pour les prévisions à 30 et 60 minutes en fonction des jours du mois

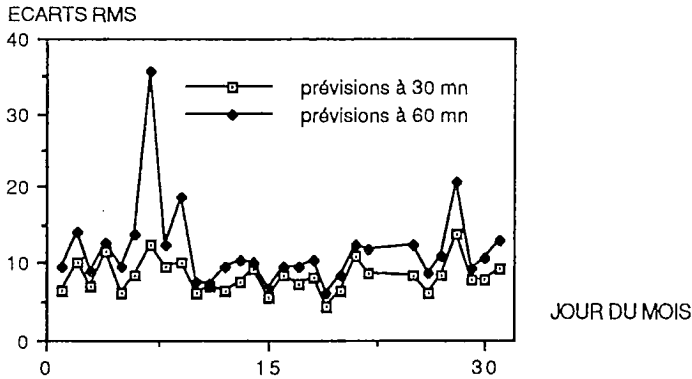




Figure 5 : Les écarts rms pour les prévisions à 30 et 60 minutes en fonction des heures

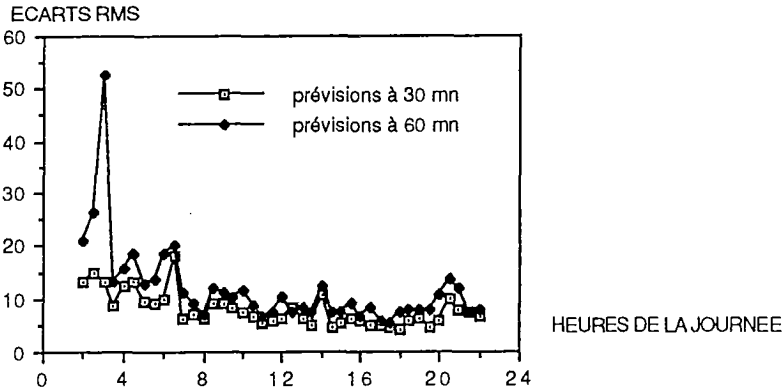
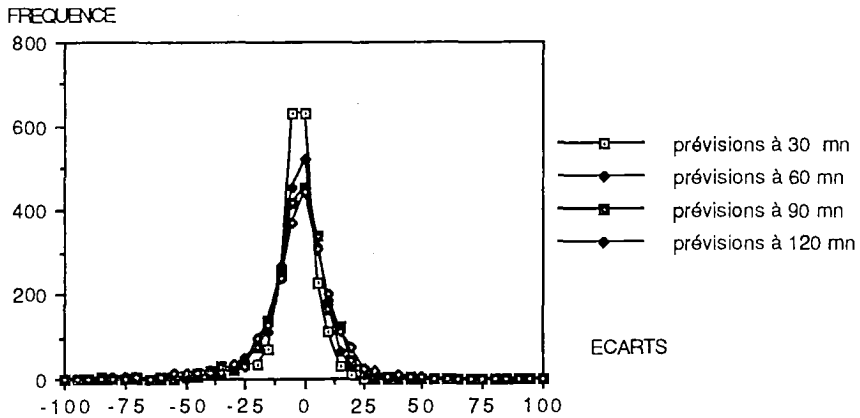


Figure 6 : La distribution des écarts pour les prévisions à 30, 60, 90 et 120 minutes

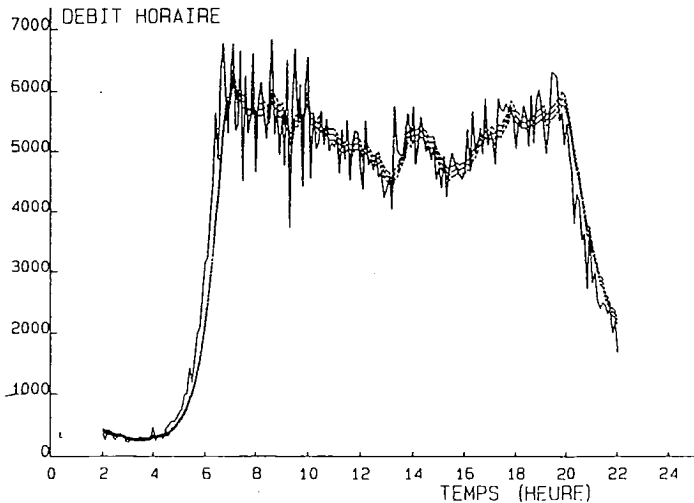


### 3.6 Limites de la précision des prévisions de débit

Pour les prévisions de débit à court terme sur le réseau A12-A13, nous avons pu mettre en évidence deux limites supérieures au-dessus desquelles nous ne pensons pas pouvoir augmenter la précision.

En ce qui concerne les prévisions à partir des débits moyennés sur 30 minutes, nous proposons de prendre comme limite l'amplitude des fluctuations aléatoires d'un processus poissonnien. Nous avons visualisé (fig. 7) pour un profil de débit mesuré toutes les 6 minutes  $d_{m6}$ , les valeurs de débit moyennées sur 30 minutes  $d_{m30}$  et les deux courbes enveloppes correspondant à un intervalle de  $\pm$  un écart-type de  $d_{m30}$ .

Figure 7 : Journée du 15 mai 1990 : les profils  $d_{m6}$ ,  $d_{m30}$  et les deux courbes correspondants aux fluctuations poissonniennes



Dans le cas d'une circulation très "régulière", les fluctuations pourraient être inférieures à celles correspondant à un processus poissonnien, et donc on pourrait espérer une meilleure précision. Par contre dans le cas étudié, cette limite n'est même pas atteinte.

Pour l'ensemble du mois de mai 1990, les écarts rms entre les observations et les prévisions sont en moyenne de l'ordre de 8,4 %, par contre les déviations poissonniennes sont de l'ordre de 5 % (fig. 8). Cela indique soit que les méthodes de prévision utilisées peuvent être considérablement améliorées, soit que la circulation n'est pas uniquement régie par une loi de Poisson.

Nous proposons d'introduire une seconde limite pour les prévisions à partir des profils  $d_{m6}$ , il s'agit des écarts rms calculés entre les profils de débits  $d_{m6}$  et  $d_{m30}$ . Ces écarts et les écarts rms entre les prévisions de débit à 30 minutes réalisées à partir des profils  $d_{m6}$  et les observations sont très similaires et présentent une valeur moyenne de l'ordre de 19 % (fig. 9). Alors que les fluctuations de type poissonnien calculées à partir des profils  $d_{m6}$  sont de l'ordre de 12 %. On peut donc conclure que les fluctuations réelles du débit sont supérieures à celles d'un processus poissonnien et que ce sont ces fluctuations qui vont limiter la précision de la prévision.

Figure 8 : Les écarts rms pour les prévisions à 30 minutes (losange) et les fluctuations poissonniennes calculées à partir des profils  $d_{m30}$  (carré) en fonction des jours du mois

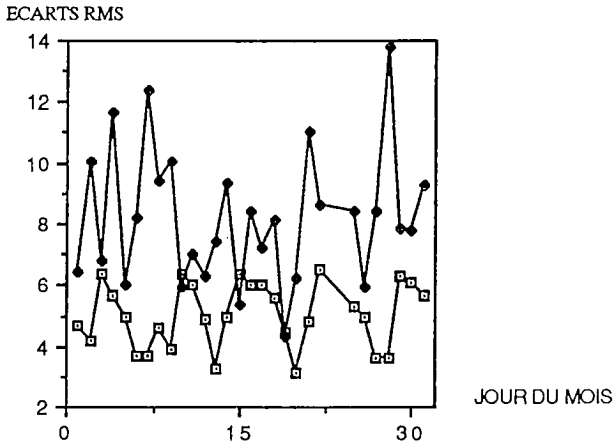
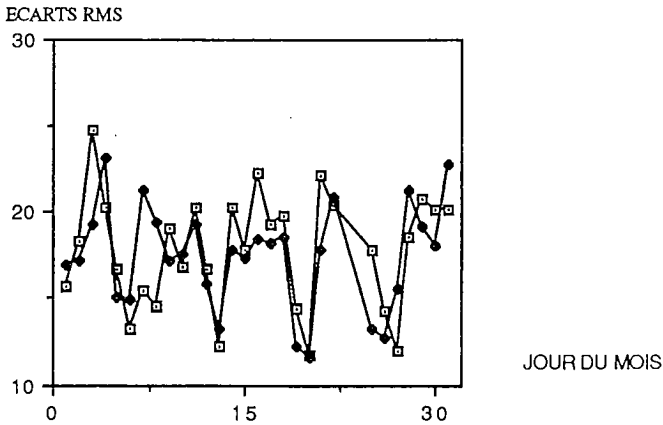


Figure 9 : Les écarts rms entre les profils  $d_{m6}$  et  $d_{m30}$  (carré) et les écarts rms pour les prévisions à 30 minutes calculées à partir des profils  $d_{m6}$  (losange) en fonction des jours du mois



## CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer qu'il était possible, sur le réseau A12-A13 qui est un réseau fortement perturbé par les incidents, de prévoir le trafic à court terme en utilisant une méthode des profils types.

Il serait intéressant d'affiner l'algorithme de détection des incidents en n'utilisant plus seulement les débits horaires mais également les taux d'occupation et les valeurs moyennes afin de rendre automatique la phase de détermination des profils type et afin de rendre plus efficace la détection des incidents lors de la phase de prévision.

Nous avons fait le choix de travailler sur un capteur unique, il serait intéressant d'étudier si la précision ne peut pas être augmentée en associant lors de la prévision les débits mesurés à des temps antérieurs pour des capteurs amonts. Le choix judicieux de la localisation de ces capteurs et des temps antérieurs ne pourra être fait qu'en connaissant les temps moyens de parcours sur le réseau.

Notons que nous avons maintenant une idée a priori sur la précision des prévisions que l'on peut espérer atteindre.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le S.I.E.R. (Service Interdépartemental d'Exploitation Routière) de la D.R.E.I.F. (Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France) qui a mis à notre disposition les données de trafic provenant du réseau SIRIUS.

## RÉFÉRENCES

- [1] R. V. Jensen. Classic Chaos. American Scientist 75. 1987. p 168 - 181
- [2] F. L. Hill. An interpretation of speed-flow-concentration relationship using catastrophe theory. Transpn. Res. 21 A. p 191 - 201.
- [3] M. Aron, M. Danech-Pajouh and T. Stovall. Méthode de prévision du trafic autoroutier à court terme. Revue Générale des Routes et Aérodrômes n° 674. Mai 1990.
- [4] I. Okutani. The Kalman filtering approaches in some transportation and traffic problems. Transportation and Traffic Theory. Editors N. h. Gartner and N. H. M. Wilson, Elsevier Press. 1987.
- [5] G. Hahn and S. Shapiro. Statistical Models in Engineering. 1967. John Wiley & Sons. inc, New York, London, Sydney.