

Temps de parcours individualisés

Méthode de la "Cadence en aval"

Le présent document est une spécification pour le calcul des temps de parcours entre deux points de mesure équipés de stations à la norme NFP PP340.

Prologue sur les temps de parcours

Un premier éclairage "fonctionnel": la mesure et les attributs de la mesure de temps de parcours sont différents selon plusieurs critères:

- plusieurs définitions différentes
 - le temps de parcours réel individuel d'un véhicule donné
 - le temps de parcours réel individuel sans identification formelle du véhicule
 - le temps de parcours réel d'un flot pendant une période de trafic homogène
 - le temps de parcours réel moyen sur une période longue
 - le temps de parcours prévisionnel indépendant des mesures temps réel du trafic (genre Bison futé)
 - le temps de parcours prévisionnel calculé selon le trafic en temps réel
 - ...
- l'exactitude d'un temps de parcours est différente selon l'application
 - pour le contrôle sanction
 - pour les statistiques
 - pour la diffusion temps réel
 - ...
- plusieurs environnements (distance, débit, usage de la voie,...)
 - les VRU, courtes distances
 - les autoroutes, longues distances
 - les routes de transit
 - les routes de desserte
 - le milieu urbain
 - ...
- plusieurs méthodes (distance entre capteurs, type de capteur,...)
 - microscopiques
 - macroscopiques
 - probabilistes
 - élaboration locale ou centralisée
 - ...
- plusieurs systèmes de localisation
 - Axe PR à Axe PR
 - GPS à GPS
 - Lieu dit à lieu dit
 - RDS à RDS (Alert C)
 - ...

Sur les secteurs bien instrumentés (tous les 500m), les temps de parcours peuvent être calculés à partir des vitesses moyennes issus de chaque points de mesure. Au-delà de 500m, cette méthode n'est pas assez réactive (il faut attendre que la perturbation remonte jusqu'au capteur amont) et peu précise.

Sur les secteurs où les points de mesure sont plus éloignés (plusieurs kilomètres), l'estimation du temps de parcours reste possible, sous réserve que la section soit homogène, sans fuite ni apports significatifs.

On gardera présent à l'esprit que le temps de parcours est d'autant plus utile que le trafic est perturbé. La méthode de calcul doit donc être robuste et fidèle spécialement quand le trafic est très perturbé.

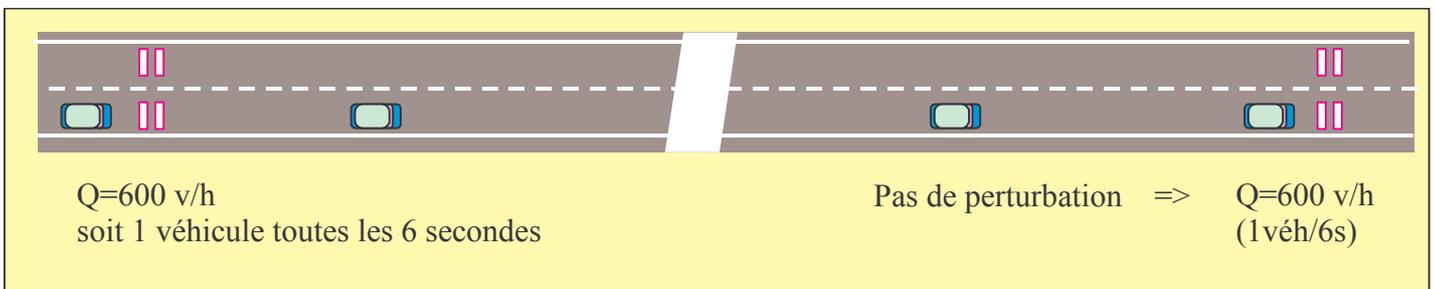
Objectif

L'indication de temps de parcours entre deux points intéressent

- **les usagers** (affichage sur PMV ou sur Internet), immédiatement avant ou pendant leur trajet, ou, en temps différé, pour organiser leurs activités en fonction de statistiques d'encombrement
- **les exploitants** qui doivent prendre en temps réel des mesures d'exploitation et doivent rendre compte en temps différé du niveau de service de leur réseau
- **les décideurs** politiques, économiques et administratifs qui doivent décider des évolutions à prévoir dans l'infrastructure ou dans l'intermodalité.

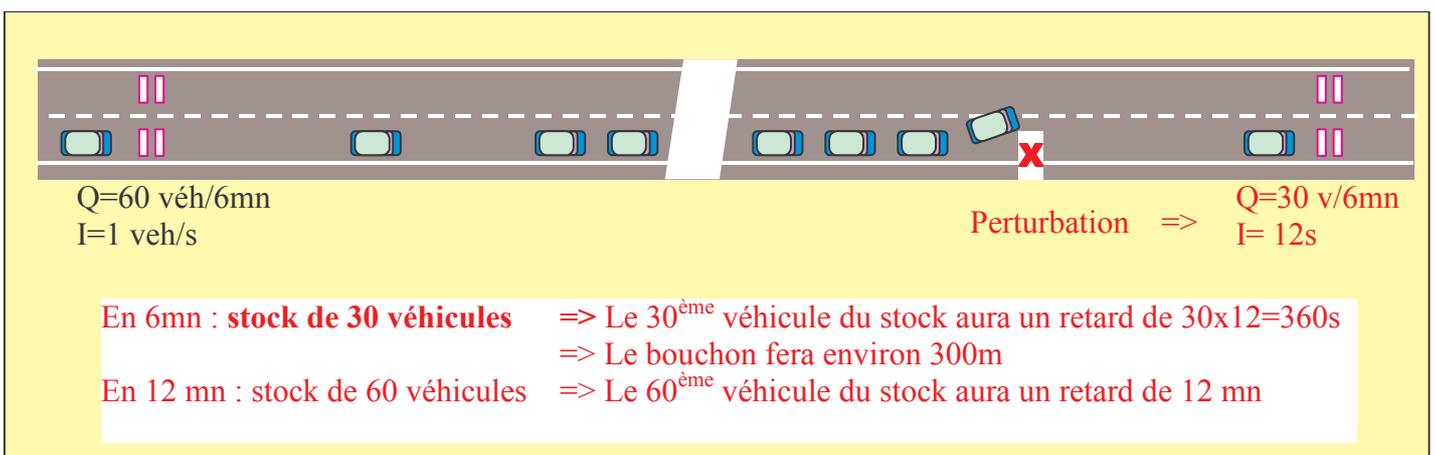
Principe

En trafic établi, en l'absence de perturbation, les débits mesurés sur une station amont sont à peu près les mêmes que ceux mesurés sur une station aval, avec un décalage dans le temps égal en général fonction de leur vitesse mesurée sur la station amont (grossièrement, un véhicule qui va vite en un point continuera d'aller vite).



Si le débit mesuré en aval est significativement moindre que le débit mesuré en amont, certains véhicules ont été retardés.

Le retard avec lequel la station aval les voit passer représentent l'augmentation du temps de parcours par rapport au temps de parcours en trafic établi. C'est le principe de la "méthode des stocks" (Inrets-Licit, Christine Buisson)



Si les comptages amont et aval sont rigoureux et si l'itinéraire est sans fuite ni apport de véhicule, la différence des débits cumulés depuis la détection des premiers retards représentent le nombre de véhicule pris dans le bouchon et donc sa longueur approximative et son gradient (l'allongement par unité de temps). Connaissant le débit aval, il est facile de calculer la vitesse à laquelle les véhicules progressent dans le bouchon.

Enfin, le retour au trafic régulier peut être décrété lorsque les débits amont et aval redeviennent équivalents, en général après une période de sur-débit en aval, correspondant à la suppression de la cause des ralentissements et au vidage du bouchon.

Cependant, dans la pratique:

- ◆ *Le trafic établi n'est pas totalement régulier. Il s'organise en pelotons. Sur des chaussées à une seule voie, un seul véhicule lent modifie la physionomie du trafic sans augmenter significativement le temps de parcours global. Les comptages sont momentanément désynchronisés et l'algorithme doit en tenir compte.*
- ◆ *Les comptages ont une incertitude d'environ 3% en fonctionnement normal et beaucoup plus en cas de dysfonctionnement. (Comment distinguer un dysfonctionnement d'une perturbation?)*
- ◆ *L'heure des stations peut subir des dérives contre lesquelles il faut se prémunir.*¹

La difficulté de l'algorithme réside donc dans la mise au point des mécanismes de re-synchronisation des mesures.²

Nature des mesures

Les stations normalisées fournissent deux types de mesure:

- ◆ *les mesures individuelles: l'heure de passage (au 1/100s près), la voie de passage (sur autoroute), la vitesse et la longueur du véhicule.*
- ◆ *Les mesures agrégées, sur une période configurable (6mn en général et jusqu'à 20s dans le cas des réseaux SDER de niveau 1)*

A une exception près (Marius), les opérations d'exploitation dynamique n'utilisent que les mesures agrégées. Mais la densité de leurs stations est forte (tous les 500m) et les algorithmes de temps de parcours de ces opérations utilisent directement la vitesse. La présente méthode ne les intéresse donc pas.

L'objectif du système est la mesure du temps de parcours sur des sections supérieures au kilomètre (sans fuites ni apports supérieurs à 5%). Il est légitime d'utiliser les mesures individuelles, car toute agrégation entraîne une perte de la richesse informative de la mesure initiale. Dans ce cas, il devient possible d'effectuer les calculs en se basant sur les intervalles entre véhicules plutôt que sur les débits (l'un étant mathématiquement l'inverse de l'autre).

¹ Un système de mise à l'heure automatique devrait être depuis longtemps (les premières demandes remontent à 1995) au cahier des charges des stations. Malheureusement, pour toutes les stations existantes, l'heure des stations dépend d'une chaîne logique un peu complexe et les exploitants n'ont guère les moyens d'effectuer les vérifications fréquentes qui s'imposeront dans un tel système. Pour aller plus loin, il devient nécessaire que les stations nouvelles disposent en standard d'un module GPS qui les situent intrinsèquement et qui leur donnent l'heure.

² Pour comprendre ceci, on peut faire l'analogie avec le taux de remplissage d'un parking: si l'on compte mal les véhicules qui entrent ou qui sortent, le parking risque d'afficher complet alors qu'il est vide ou inversement. Un surcomptage en sortie d'une section de route amènera à croire que le bouchon est plus court qu'en réalité et inversement.

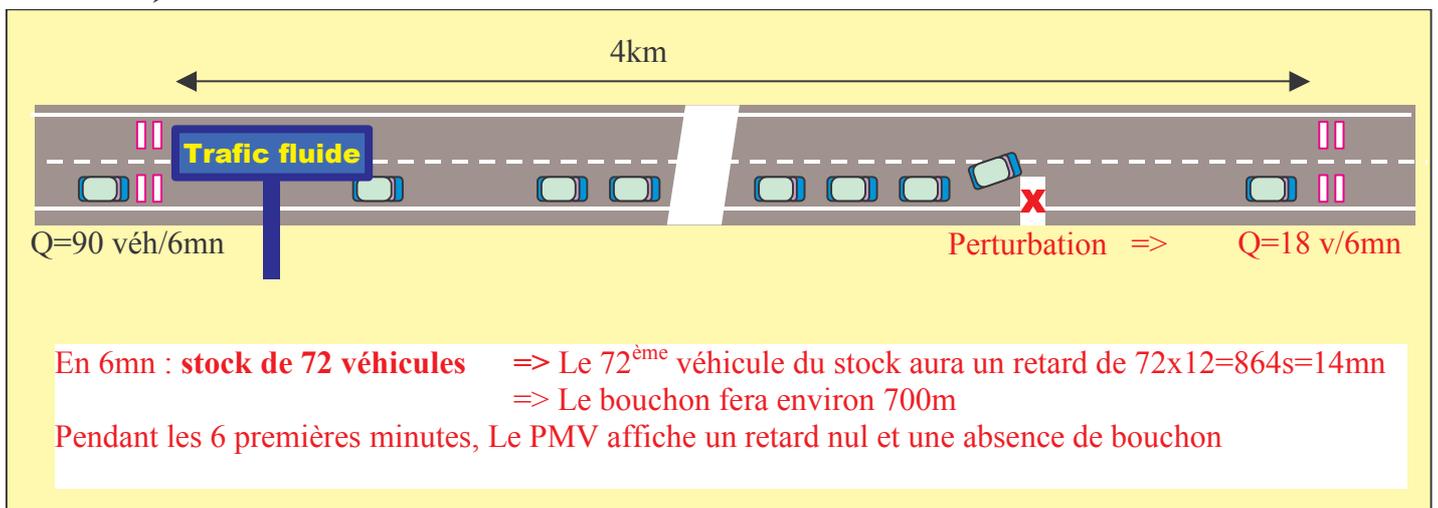
Fréquence de rafraîchissement du temps de parcours.

Si le temps de parcours est affiché aux usagers en temps réel, il faut que le système de traitement soit très réactif pour éviter d'afficher des temps de parcours trop différent de celui que l'utilisateur va subir.

Exemple:

Sur la base d'un accident qui bloque un trafic de 900 véh/h à 80% sur une chaussée à une voie, chaque minute:

- 15 véhicules rentrent sur la section perturbée
- 3 véhicules sortent de la section perturbée
- 12 véhicules vont s'ajouter au bouchon, soit un bouchon qui s'allonge de 120m (7,2 km/h)
- Les véhicules dans le bouchon progressent de 30m/mn (1,8 km/h)
- Le temps de parcours s'accroît chaque minute du temps qu'il faut pour faire 120m à 1,8 km/h diminué du temps nécessaire pour faire ces mêmes 120m à 90km/h, soit 3mn55s.
-



Si la section fait 4km, et si l'affichage est rafraîchi toutes les 6mn, le premier usager qui verra l'affichage au droit de la station amont (dans le cas le plus défavorable où l'accident s'est produit juste au moment du recueil de données 6mn), lira un temps de parcours équivalent à 4km à 90 km/h, soit environ 3mn et subira un temps de parcours réel d'environ 17mn.

On voit donc l'intérêt de réaliser un système réactif, d'autant plus crédible que les sections sont courtes.

Un rafraîchissement à 6mn apparaît insuffisant. 3mn sont un maximum. 1 minute est le plus souhaitable. La méthode proposée rafraîchit l'information à chaque fois qu'un véhicule entre sur la section, ce qui donne toute latitude pour sa diffusion.

Il est difficilement imaginable d'interroger toute l'année chaque station toutes les minutes avec le RTC. Même à 6mn, la facture téléphonique reste imposante.

Si l'on dispose d'un lien ADSL ou GPRS ou UMTS³, le rafraîchissement peut se faire à chaque nouvel entrant se fait chaque minute.

³ Toujours sur une base de 1800 véh/h en heure de pointe, soit environ 20 000 véhicules par jour, le volume de données échangé chaque jour avec une station représente environ 200 koctet, tout à fait compatibles avec un paiement au volume .

Algorithme

Le traitement a deux objectifs:

- Détecter les ruptures de trafic, significatives d'incident probable ou de remise à la circulation libre. Le constat de circulation libre permet de ré-initialiser à zéro le stock de véhicules surcomptés dans l'épisode perturbé.

Le traitement consiste

- o à déterminer l'heure probable d'arrivée de chaque véhicule au point aval compte tenu de son heure de passage et de sa vitesse au point amont et compte tenu de la "viscosité" du trafic qui le précède
- o à établir les différences entre les prévisions et la réalité mesurée
- Calculer la longueur du bouchon et la vitesse de progression dans le bouchon, à partir des différences de comptage entre l'amont et l'aval⁴, et de là établir le temps de parcours sur la section⁵



Détection des ruptures de trafic

◆ Temps de parcours prévisible hors perturbation

Le temps de parcours est fonction de la composition et de la vitesse générale du trafic (de façon imagée, on peut parler de la viscosité du trafic)

Un seul véhicule lent peut avoir un impact très fort sur l'ensemble du trafic pendant tout son trajet sur la section. Un PL qui double lentement un autre PL peut aussi modifier profondément la progression de l'ensemble.

Le principe est qu'un véhicule sera d'autant plus ralenti dans sa progression que sa vitesse est grande par rapport à la viscosité du trafic devant lui. Par exemple, le véhicule passant au point amont juste après un véhicule très lent sera plus pénalisé dans sa progression que le véhicule qui passe une minute plus tard. Si le trafic est dense, les occasions de dépassement seront plus rares.

Ce sont ces phénomènes qui incitent à baser l'algorithme sur les mesures individuelles plutôt que sur les mesures agrégées (les mesures individuelles, répétons-le, ne sont pas plus difficiles à acquérir que des mesures agrégées qui, par ailleurs gommant ces phénomènes microscopiques à fortes conséquences).

⁴ Cette méthode rejoint la "méthode des stocks, théorisée par l'INRETS-LICIT (Christine Buisson) et exposée dans le Manuel Simplifié de la Théorie du Trafic"

⁵ On pourrait utiliser les différences de temps entre les prévisions et la réalité pour établir le temps de parcours, solution pertinente en trafic normal ou faiblement perturbé. Mais une bonne prévision devient utopique avec une perturbation importante. Le but étant d'obtenir un temps de parcours de bonne qualité lors des perturbations importantes, la méthode des débits amont/aval est plus sûre.

12h12



Vitesse x Viscosité
= arrivée prévisible à

12h50



Le calcul du temps de parcours prévisible tient compte de la longueur de la section à parcourir (jusqu'au point aval) et d'un indicateur fonction de la vitesse des véhicules précédents, des intervalles entre véhicules et de la longueur des véhicules, c'est à dire un taux d'occupation. Il est recalculé à chaque véhicule passant au point amont. C'est un attribut propre à chaque véhicule.

Taux d'occupation devant le véhicule :

Le taux d'occupation affecté à un véhicule est calculé sur une période courte permettant de dégager des pelotons. Cette période varie avec le débit : le taux est calculé sur un nombre défini de véhicules.

TOan : Le taux affecté à un véhicule est la moyenne des temps de présence individuels des n derniers véhicules précédents le véhicule.

Vitesse de groupe devant le véhicule

VGan : La vitesse de groupe affectée à un véhicule est la vitesse moyenne harmonique des n véhicules précédents

Vitesse prévisible d'un véhicule

La vitesse lente isolée a un poids très fort, qui diminue avec le temps.

La vitesse prévisible (VPa) d'un véhicule est proposée selon la formule suivante, où V_i est la vitesse mesurée du véhicule:

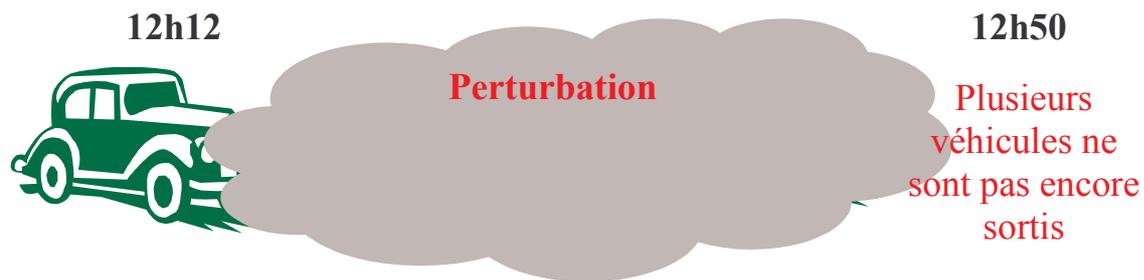
Si $V_i > V_{Gan}$: $VPa = V_i - (V_{Gan} \times TOan)$
Si $V_i < V_{Gan}$: $VPa = V_i$

Calcul du temps de parcours prévisible

Le temps de parcours prévisible du véhicule considéré se fera en divisant la distance par la vitesse prévisible de ce véhicule.

Rupture de trafic

La rupture de trafic est diagnostiquée au-delà d'un nombre donné de véhicules en retard au point aval. Le nombre de véhicules en retard est la différence entre les entrées et les sorties



Différentiel

Le différentiel est le nombre de véhicules qui occupent la section en plus de ceux qui y doivent y être de façon prévisible. Il est calculé à chaque entrée ou sortie d'un véhicule. Le calcul permet de déterminer si les véhicules entrés sont ou non sortis (en fonction de leur temps de parcours prévisible).

Le différentiel D_a est tel que :

- ◆ ***Un véhicule prévu pour arriver au point aval à l'heure courante augmente le différentiel de 1.***
- ◆ ***Un véhicule passant à l'heure courante au point aval diminue le différentiel de 1.***

L'expérimentation devrait permettre de vérifier l'impact de la notion de temps de parcours prévisible sur l'exactitude du différentiel.

Calcul du Bouchon

La détection d'une rupture de trafic déclenche le calcul des paramètres du bouchon. Le différentiel calculé pour déterminer la rupture de trafic représente les véhicules en retard, c'est à dire le stock, qui va s'écouler au fur et à mesure qu'un véhicule passe sur le capteur aval.

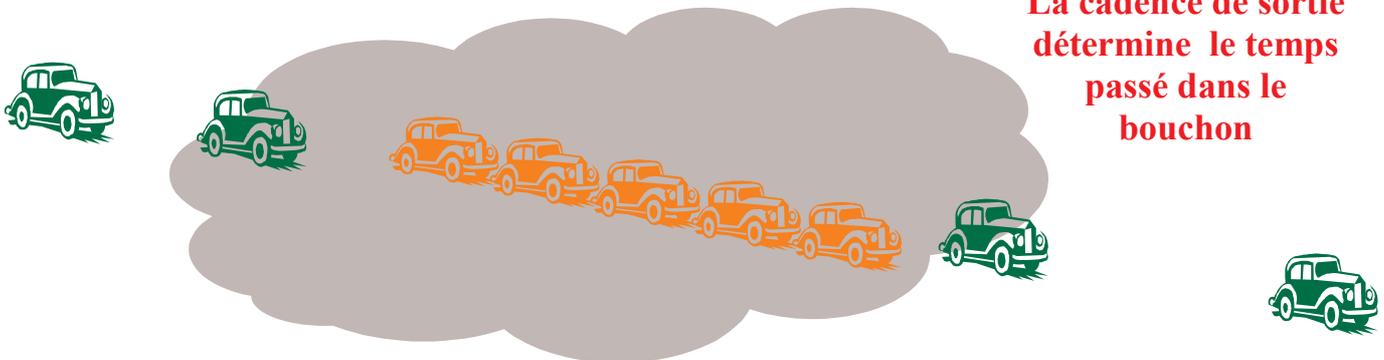
Retard

Le calcul est fait à chaque véhicule sortant, à la cadence du moment

IMan : Intervalle moyen affecté, en secondes par véhicule calculé sur les n véhicules écoulés

A chaque véhicule sortant, l'algorithme

- mesure le temps qu'il a fallu pour que n véhicules sortent en aval;
- en déduit l'intervalle moyen affecté (la cadence de sortie)
- calcule le temps qu'il faudra pour écouler le différentiel à la cadence de sortie.
- On peut alors considérer que le(s) prochain(s) véhicule(s) entré(s) au point amont subira(ont) un retard équivalent à ce temps d'écoulement.



Le retard d'un véhicule est le produit de l'intervalle moyen de sortie par le différentiel.

$$\text{Retard} = \text{IMan} \times \text{Da}$$

Temps de parcours

Le temps de parcours est alors égal à la somme du Temps de parcours de base et du retard:

$$\text{TP} = \text{Tbase} + \text{Retard}$$

Le temps de parcours de base est donné comme le temps de parcours d'un véhicule circulant aux vitesses prescrites sur la section.

Tendance du temps de parcours

Le temps de parcours est à la hausse si les n derniers temps de parcours (5 par défaut) sont en croissance continue et si le dernier est d'au moins p% (10 par défaut) supérieur.
Le temps de parcours est à la baisse si les n derniers temps de parcours (5 par défaut) sont en décroissance continue et si le dernier est d'au moins p% (10 par défaut) inférieur.

La notation habituelle pour un temps de parcours à la hausse est du type: >15mn

La notation habituelle pour un temps de parcours à la baisse est du type: <15mn

Longueur du bouchon

A chaque pas de calcul, l'algorithme calcule la longueur du bouchon, chaque véhicule occupant une longueur moyenne de voie L_{mv} (10m par défaut). La longueur du bouchon est le produit de la longueur moyenne par le différentiel et divisé par le nombre de voies circulées par le bouchon (par défaut 1 ou 2 selon que la chaussée est à 1 ou 2 voies, modulable par l'exploitant en cas de travaux sur une grande longueur):

$$L_{bouchon} = (L_{mv} \times Da) / \text{nb voies}$$

Fin de perturbation

Lorsque la cause de la perturbation a disparue, le différentiel revient progressivement au voisinage de zéro, aux erreurs de comptage et aux fuites près.

Pour éviter les dérives, le différentiel est forcé à zéro si sa valeur reste inférieure à $n\%$ (par défaut 10%) de son maximum récent (celui lié à la rupture de trafic) pendant plus de m minutes (par défaut 10mn). Ce forçage à zéro détermine la fin de la perturbation.

Heures perdues cumulées

Le seul indicateur valorisable (10€ l'heure perdue par un VL, 60€ pour un PL) qui permettent une évaluation et un suivi des problèmes de trafic est le temps total perdu. (les HKM sont le constat géographique d'une situation. Sans élément sur la vitesse de progression dans le bouchon, on ne peut évaluer le préjudice collectif).

◆ ***Les heures perdues sont calculées à chaque véhicule sortant, par un simple cumul des retards de chaque véhicule.***

En temps réel, l'exploitant peut vérifier que le préjudice individuel ou collectif lié à la perturbation.

En fin de perturbation, l'exploitant peut disposer d'un indicateur intéressant pour ses bilans.

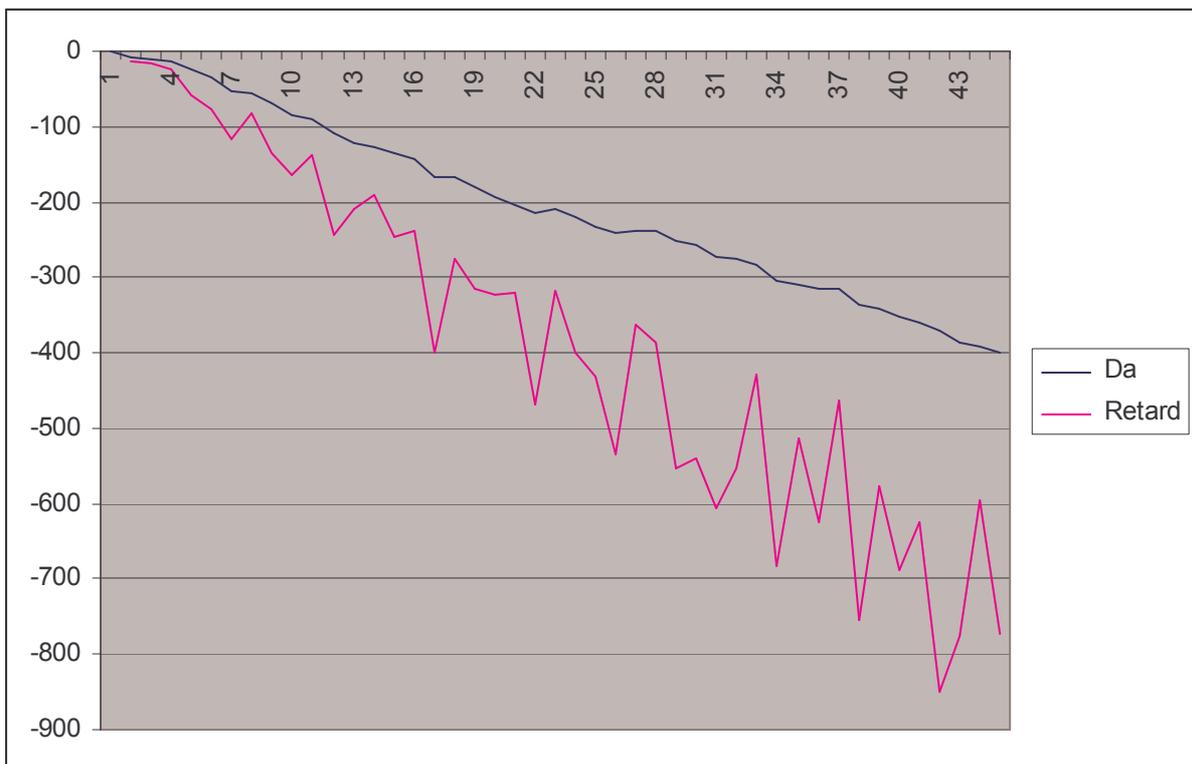
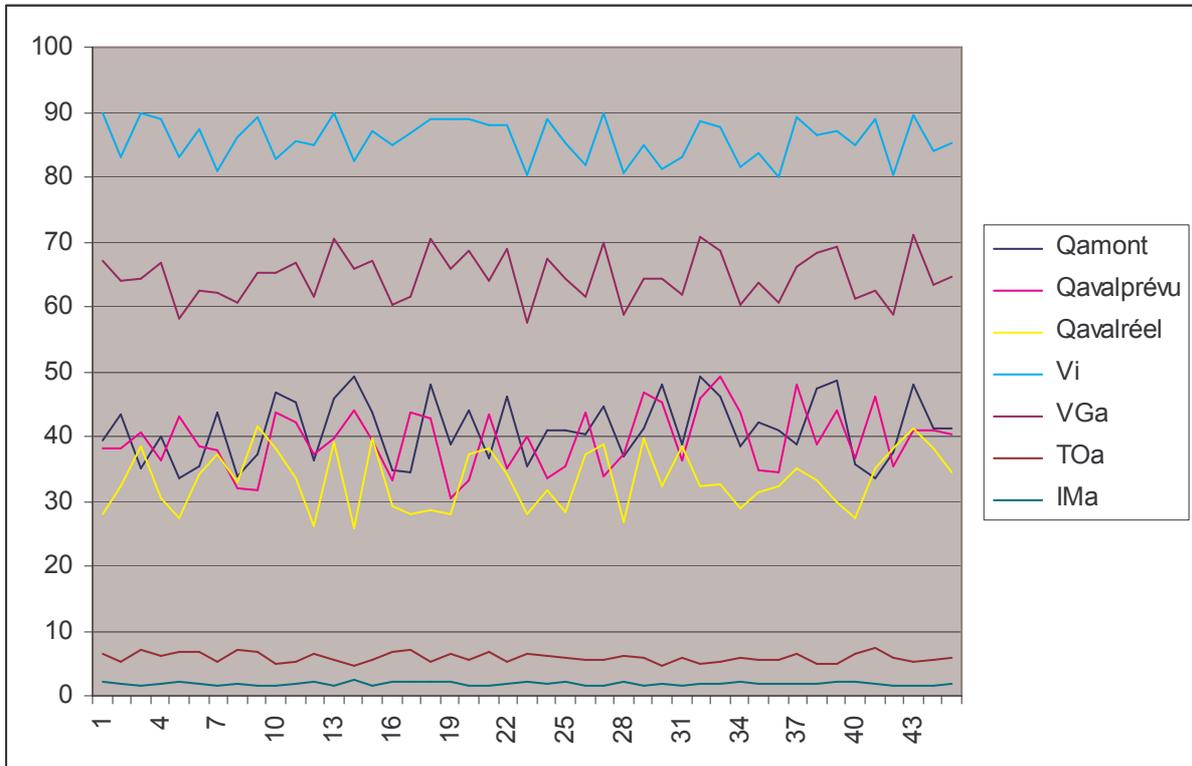
Contrôles

Les spécifications du logiciel doivent permettre de vérifier son fonctionnement.
Pour mémoire :

Contrôle de l'algorithme en temps réel

Les variables sont présentées dans un tableau, à raison d'une ligne par véhicule entrant (profondeur par défaut: 9999 pas):

Site; Horodate; Qamont; Qavalprévu; Qavalréel; Vi; VGa; TOa; IMa; Da; Retard; TPbase; TPa; TP; Lbouchon; tendance



Les maxima (d'une période perturbée) sont en gras et les minima sont en italique.
Toutes ces variables sont représentées graphiquement

Contrôle des mesures individuelles

Les mesures individuelles sont exportables au format Marius.
Elles sont visualisables en ligne à l'aide de l'application "LAMI".

http://siredo.free.fr/Documents/Lami_notice.htm

Configuration

Les paramétrages sont présentés dans un tableau:
Nom du paramètre en clair; Nom de variable; valeur par défaut; valeur forcée; commentaires
(méthodologie, définition,...)

Documentation en ligne

Pages HTML

Les variables sont présentées dans un tableau:
Nom de la variable en clair; méthode de production; bornes; commentaires