



Méthodes d'estimation des temps de parcours par la fusion de données en milieu urbain

Ré-Mi Hage

LCPC-Nantes

Direction de thèse : François Peyret (LCPC),
Dominique Meizel (Univ. Limoges),
David Bétaille (LCPC).



Plan

- 1 : Contexte LCPC
- 2 : Introduction à l'estimation des Temps de Parcours
- 3 : Différences des TP en autoroutier et en urbain
- 4 : Techniques utilisées pour l'estimation des TP
- 5 : Première modélisation considérée en fusion et ses limitations
- 6 : Modélisation envisagée pour la suite des travaux
- 7 : Conclusions et perspectives



1

Contexte LCPC

- A la suite de l'opération de recherche MTT 2007-2010 (**M**étrologie du **T**rafic et des **T**rajectoires), où l'effort de recherche a porté sur la cinématique des véhicules isolés.
- Comment mettre à profit notre background en géo-localisation pour la métrologie du trafic.



1

Contexte LCPC

- Nouvelle opération de recherche SERRES 2010-2013 (**S**olutions pour une **E**xploitation **R**outière **R**espectueuse de l'**E**nvironnement et la **S**écurité).
- Idée d'une thèse portant sur les véhicules traceurs (fusionnés avec les boucles magnétiques) et le temps de parcours en urbain.



2

Introduction à l'estimation du temps de parcours

- Le temps de parcours est défini comme le temps nécessaire pour parcourir un réseau donné d'un point à un autre.
- Le temps de parcours est considéré comme la mesure du degré de performance la plus importante dans les études de transport.
- En réduisant l'encombrement, on assure la fluidité du trafic (ce qui réduit la consommation d'énergie).



2

Introduction à l'estimation du temps de parcours

- Fluidifier le trafic.
- Apporter aux automobilistes un réel confort de déplacement.
- Adapter leur stratégie de conduite en fonction des temps de parcours.



3

Estimation du TP : différences entre les réseaux autoroutier et urbain

- La plupart des recherches sur l'estimation du temps de parcours sont limitées à des autoroutes.
- L'estimation du temps de parcours est plus difficile sur les installations urbaines.
- Les méthodes existantes doivent être adaptées.



3

Estimation du TP : différence entre les réseaux autoroutier et urbain

Réseau autoroutier

Circulation ininterrompue, donc variations non significatives du TP entre deux véhicules consécutifs et de la vitesse d'un véhicule (en fonction du temps)

Conservation des véhicules en entrées/sorties

Réseau urbain

Circulation interrompue (feux de signalisation, panneaux d'arrêt, passages pour piétons, arrêts de bus...), donc variations significatives du TP entre deux véhicules consécutifs et de la vitesse d'un véhicule (en fonction du temps)

Non-conservation (stationnement)



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

Méthodes indirectes

Méthodes directes



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

Méthodes indirectes

- Estimation à partir d'autres paramètres mesurés directement.
- Détecteurs à boucles d'inductance (simples et doubles).



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

Avantages

- Exhaustivité du comptage (mais localement).
- Base de données sur une longue période de temps.



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

Désavantages

- Forte sensibilité (en terme d'erreur) à la défaillance de l'équipement.
- Ces mesures ne représentent que l'état du trafic à l'endroit où le capteur est placé et non sur l'ensemble du tronçon.



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

- Exemple d'application de la méthode indirecte sur un réseau urbain : **Fast Traffic Estimation with the Localized Extended Kalman Filter**, article de Hinsbergen et al. (2010) Delft Univ. of Technology.



Fast Traffic Estimation with the Localized Extended Kalman Filter

- Réseau = liens discrétisés en cellules
 - Dans chaque cellule l'état du trafic à l'instant t est décrit par la densité (r) : vecteur d'état = densités de toutes les cellules
 - Cette densité est une fonction de la densité à l'instant précédent et des flux entrant et sortant de la cellule (**Flux In/Out**) (prédiction)
- Mesures : vitesses par boucles doubles en certaines cellules
 - Fonction d'observation $y=h(r)$: diagramme fondamental, permettant d'exprimer des vitesses à partir des densités
- Localized EKF (les corrélations entre cellules sont nulles sauf entre cellules proches) => simplification calculatoire



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

Méthodes directes

- Les temps de parcours sont collectés directement sur le terrain.
- Véhicules sondes géo-localisés ou méthodes de suivi individualisé (reconnaissance de plaques ou de signatures de boucles).



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

Avantages

- Ces méthodes donnent des mesures individualisées.
- Elles expriment l'état du trafic sur l'ensemble du réseau circulé par les véhicules sondes.



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

Désavantages

- Un grand nombre de véhicules sondes par intervalle d'estimation (en temporel et spatial) est nécessaire.



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

- Exemple d'application de la méthode directe sur un réseau urbain : **Estimating Arterial Traffic Conditions using Sparse Probe Data**, article de Herring et al. (2010) Berkeley Univ. of California.



Estimating arterial traffic conditions using sparse probe data

- Réseau = tout le réseau est pris en considération.
- Chaque lien est caractérisé par un état (caché) : fluide ou congestionné.
- L'évolution de l'état du trafic est modélisée par une matrice de probabilité de transition d'état, par intervalle de 30 minutes.
- Un couplage de type Markov caché existe entre l'état et les positions GPS observées chaque minute : il permet de mettre à jour les probabilités de transition.



4

Techniques utilisées pour l'estimation du temps de parcours

Fusion de données

- Les données fournies par les boucles magnétiques et les véhicules traceurs ont chacune respectivement des propriétés complémentaires.



Boucles Magnétiques

Les boucles magnétiques décrivent l'état du trafic à l'endroit où les capteurs se trouvent

Véhicules Traceurs

Les véhicules traceurs décrivent l'état du trafic sur l'ensemble du réseau circulé

Les mesures de boucles magnétiques sont quasi exhaustives parce qu'elles prennent en compte tous les véhicules qui ont parcouru le tronçon

Les mesures des véhicules traceurs sont non exhaustives car elles n'intègrent qu'une partie des véhicules qui ont parcouru le tronçon

Les données des boucles représentent une couverture spatiale qui dépend de la densité et de l'emplacement des capteurs

Les données des véhicules traceurs représentent une couverture spatiale illimitée



**Boucles
Magnétiques**

**Véhicules
Traceurs**

Fusion des Données

ESTIMATION DU TEMPS DE PARCOURS EN URBAIN



5

Première modélisation considérée

- Le modèle considéré a pour but :
 - de filtrer les observations ;
 - d'estimer le temps de parcours par la fusion de données ;
 - de prédire le temps de parcours dans le futur proche.



5

Première modélisation considérée

- Cette étude s'intéresse :
 - au développement d'une méthode de filtrage ;
 - à l'estimation du temps de parcours à partir des mesures capteurs (débit, taux d'occupation et vitesse) et des mesures de vitesse obtenues par les véhicules traceurs.



5

Première modélisation considérée

- Le système d'estimation de la vitesse moyenne d'un itinéraire par la fusion des données des boucles magnétiques et des véhicules traceurs, est décrit par le modèle suivant :



5

Première modélisation considérée

1. vecteur d'état X qui contient les vitesses à estimer pour tous les tronçons constituant l'itinéraire.
2. vecteur d'observation Y est obtenu soit par :
 - les boucles magnétiques doubles (la vitesse moyenne mesurée par intervalle de 6 minutes) ;
 - les véhicules traceurs (leur vitesse instantanée est attribuée – au sens de l'EKF – au tronçon map-matché) chaque fois qu'ils sont disponibles.



5

Première modélisation considérée

Modèle d'évolution

- On suppose que la vitesse à un instant donné est égale à la vitesse à l'instant précédent avec une erreur.



5

Première modélisation considérée

Modèle d'observation

- Il est direct, car on considère des boucles doubles d'une part et la vitesse instantanée d'un véhicule traceur après map-matching.



5

Première modélisation considérée

Test de mesures

- Vérifier l'exactitude des observations issues des deux sources :

Boucles
magnétiques

- Données manquantes
- Données aberrantes

Véhicules
traceurs

- Erreur de map-matching



5

Limitations du modèle

- Les tronçons ne sont pas liés aux tronçons voisins.
- Les séquences des feux (rouge/vert) ne sont pas introduites.



6

Quel autre modèle considérer?

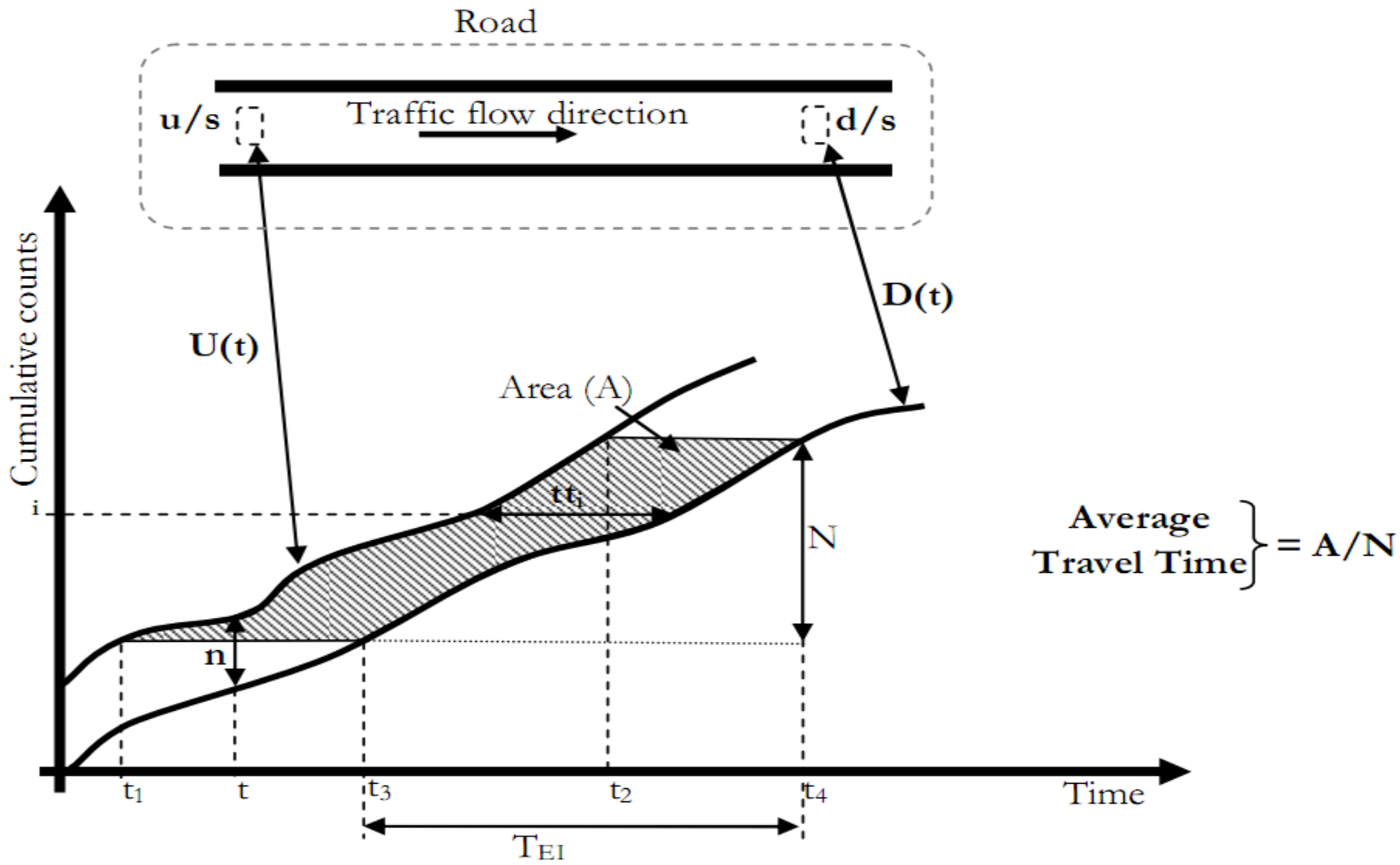
- On reprend un modèle flux In/Out par tronçons.
- Thèse de Ashish Bhaskar : **A methodology for urban network travel time estimation by integrating multisource data**, (2009) EPFLausanne.



6

Quel autre modèle considérer?

- Le process y est divisé en deux parties :
 - on cumule (dans le temps) les flux par tronçons en utilisant les données des boucles magnétiques (**Cumulative Plot**) chaque 6 minutes, entre lesquels on « interpole ».
 - on ajuste de façon déterministe les cumuls au moyen des véhicules traceurs.





6

Le calcul de cumulative plot

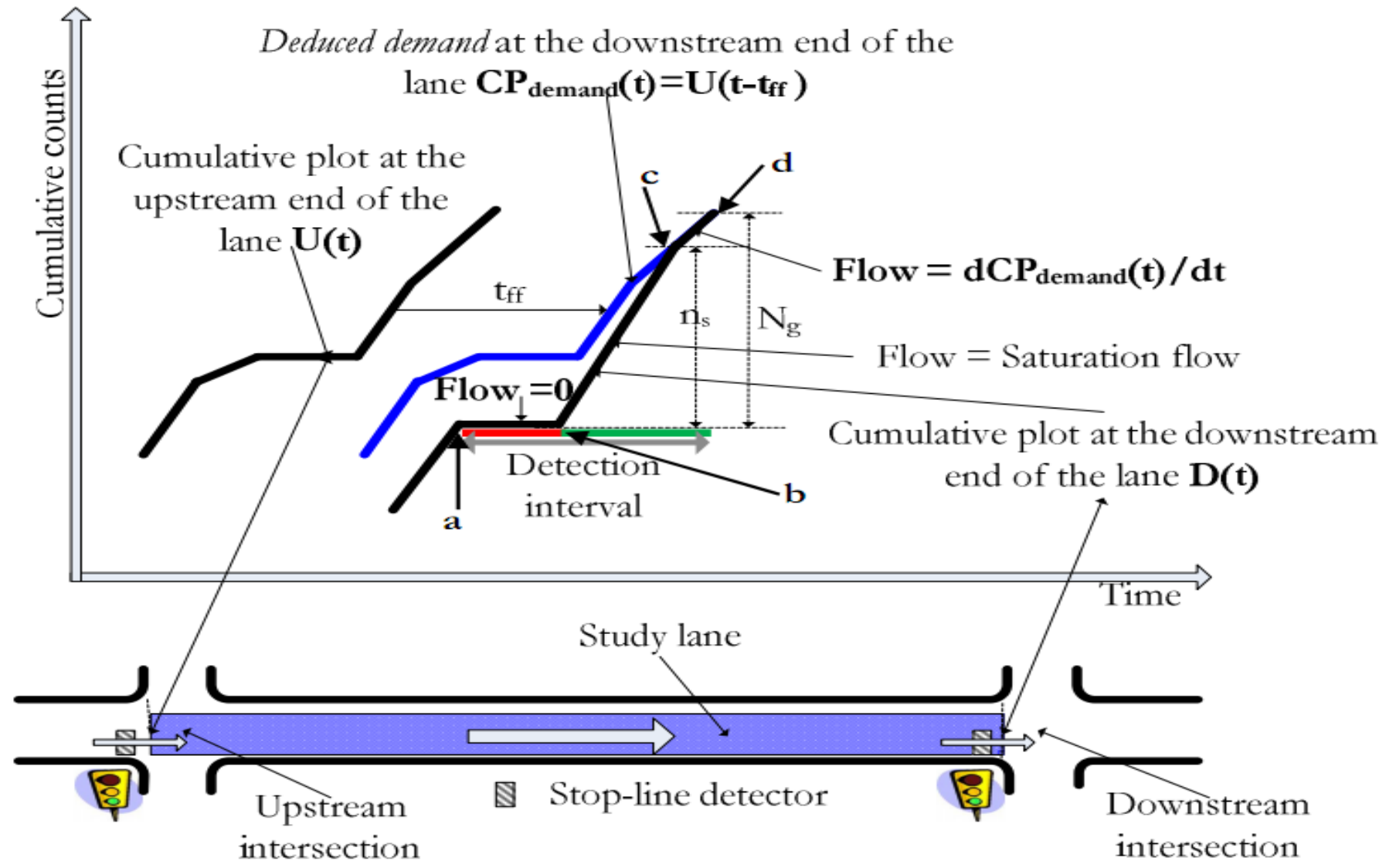
- Hypothèses (pour chaque tronçon) :
 - séquences rouge/vert
 - 1 boucle de comptage en sortie
 - le débit de saturation est connu
 - la vitesse de circulation fluide (free flow) est connue.



6

Le calcul de cumulative plot

- Durant le feu rouge : le flux est nul.
- Durant le feu vert, on peut déduire le downstream CP $D(t)$ à partir du upstream CP $U(t)$:
 - la demande est une translation horizontale de t_{ff} du upstream : CP demande $(t) = U(t - t_{ff})$ (ff=freeflow) ;
 - flux à saturation tant que CP demande $(t) > D(t)$; sinon le flux suit la demande.

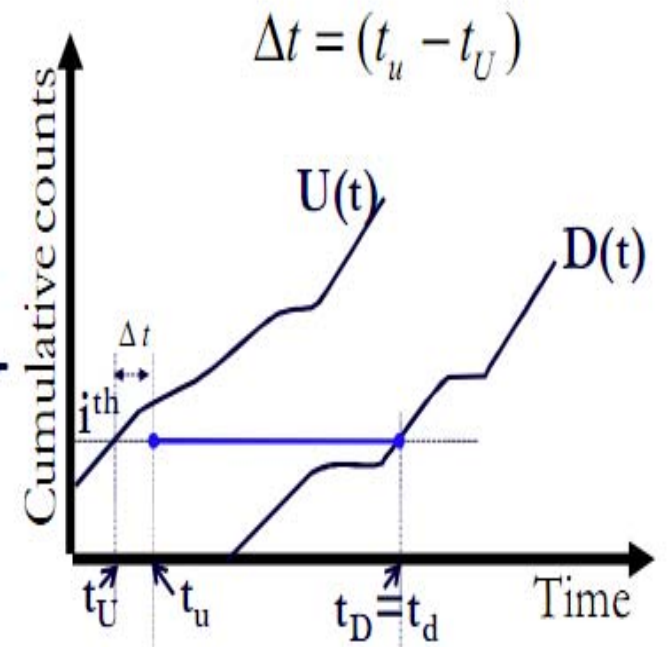
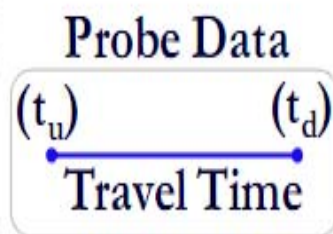
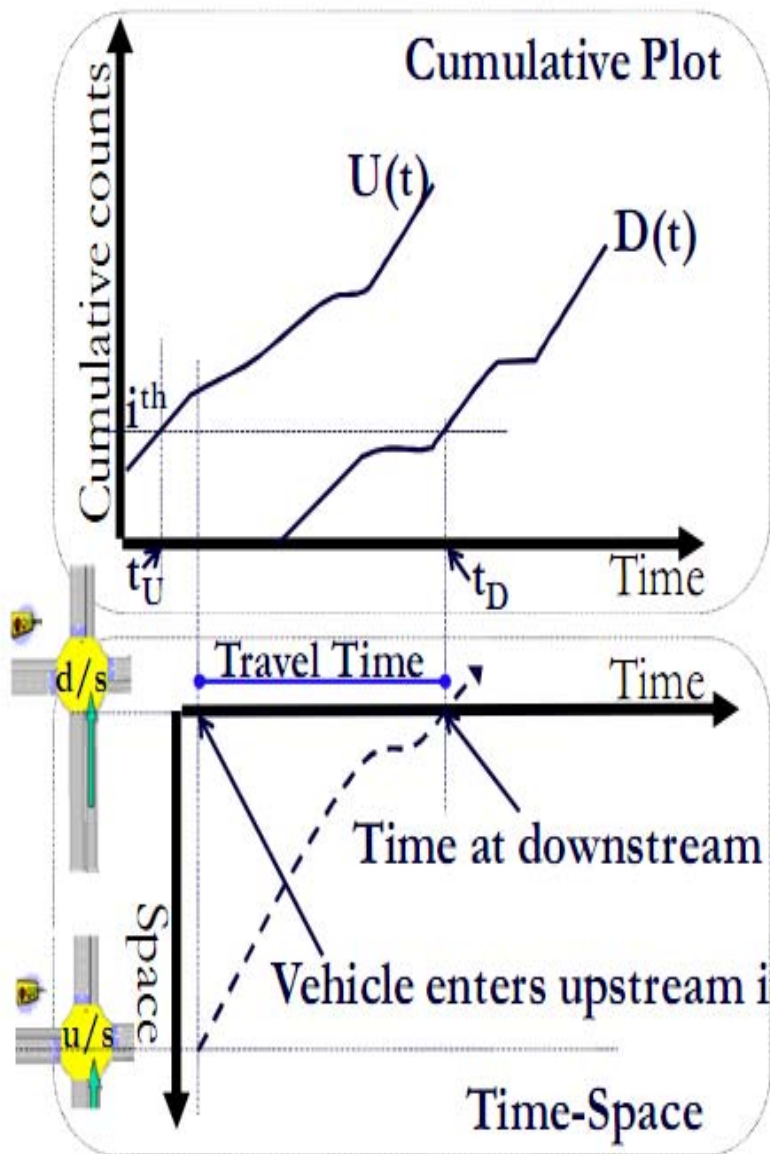




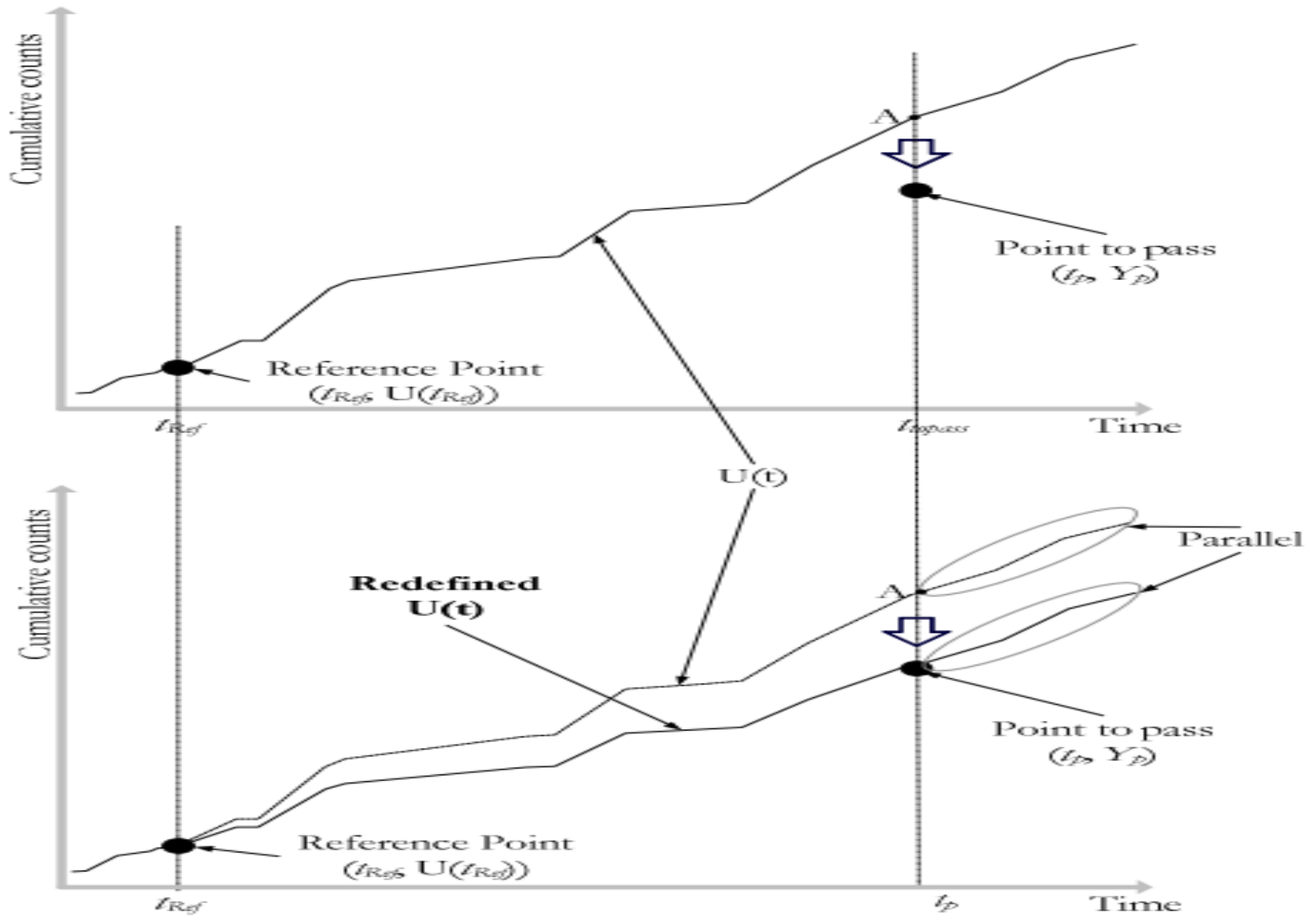
6

Le calcul de cumulative plot

- Correction du CP par véhicule traceur parcourant upstream-downstream en t_{vt} :
 - $D(t)$ doit être égal à $U(t-t_{vt})$
 - De $t-t_{vt}$ à t , on corrige verticalement
 - Avant $t-t_{vt}$ (en remontant le temps jusqu'au véhicule traceur précédent), on corrige linéairement.



Fixing probe information to $D(t)$





7

Conclusions et perspectives

- Pour résoudre le problème d'estimation des TP, on propose de fusionner des données boucles et véhicules traceurs.
- On s'intéresse à la méthode **cumulative plot**, et on en cherche une représentation d'état avec des retards (t_{ff} , t_{vt}) : système d'état avec horizon de données (buffer)... ?



7

Conclusions et perspectives

- Vecteur d'état : $D(t)$ (cumul) et $q_D(t)$ (débit) pour tous les tronçons.
- Evolution : $D(t+1) = D(t) + q_D(t)dt$ et :
 - $q(t+1) = 0$ si feu rouge, et si feu vert :
 - $q(t+1) = q_D \text{ sat}$ si $U(t - t_{ff}) > D(t)$
 - $q(t+1) = q_U(t - t_{ff})$ sinon
- Observation : correction $c(t) = U(t - t_{vt}) - D(t)$ et :
 - $U(t - t_{vt} \text{ à } t) = U(t - t_{vt} \text{ à } t) - c(t)$
 - $U(t - t_{vt \text{ précédent}} \text{ à } t - t_{vt}) = \text{correction linéaire de } 0 \text{ à } c(t)$



7

Conclusions et perspectives

- On cherche à mesurer l'impact sur l'estimation des TP par la méthode **cumulative plot** :
 - des erreurs de localisation et map-matching,
 - du nombre de véhicules traceurs considérés,
 - de la complexité de l'itinéraire / du réseau.