

Analyse et modélisation des attributs qualitatifs des transports en commun

La modélisation des effets de la congestion

Guillaume Monchambert

École Normale Supérieure de Cachan
Sous la direction du Professeur André de Palma

12 Septembre 2013

18èmes Journées doctorales en transport

Journées Eric Tabourin – AFITL

IFSTTAR - Marne la Vallée

Introduction

Contexte : les TC sont souvent délaissés alors qu'ils permettent

- des gains d'argent (et quelquefois de temps) à l'utilisateur (Steg, 2005) et
- une diminution de la pollution atmosphérique.

Introduction

Contexte : les TC sont souvent délaissés alors qu'ils permettent

- des gains d'argent (et quelquefois de temps) à l'utilisateur (Steg, 2005) et
- une diminution de la pollution atmosphérique.

Idee de la thèse : une grande partie de l'explication se trouve dans les attributs qualitatifs des TC

- "attributs physiques" : fiabilité, fréquence, retard, accessibilité...
- "attributs perçus" : confort, sécurité, odeur...

Introduction

Contexte : les TC sont souvent délaissés alors qu'ils permettent

- des gains d'argent (et quelquefois de temps) à l'utilisateur (Steg, 2005) et
- une diminution de la pollution atmosphérique.

Idee de la thèse : une grande partie de l'explication se trouve dans les attributs qualitatifs des TC

- "attributs physiques" : fiabilité, fréquence, retard, accessibilité...
- "attributs perçus" : confort, sécurité, odeur...

Ici, focus sur la congestion (\approx inconfort) dans les TC : comment modéliser son impact dans le choix modal ?

Principales caractéristiques de la congestion dans les TC

- On la mesure souvent à travers le taux de remplissage.
- Elle dégrade les autres attributs qualitatifs des TC, qu'ils soient physiques ou perçus.

Des estimations d'un coefficient multiplicateur du coût du temps de transport ont été proposées :

- Wardman and Whelan (2011) - 2.32 pour les voyageurs debout ;
- Koning et Haywood (2013) - 1.34 durant les heures de pointe.

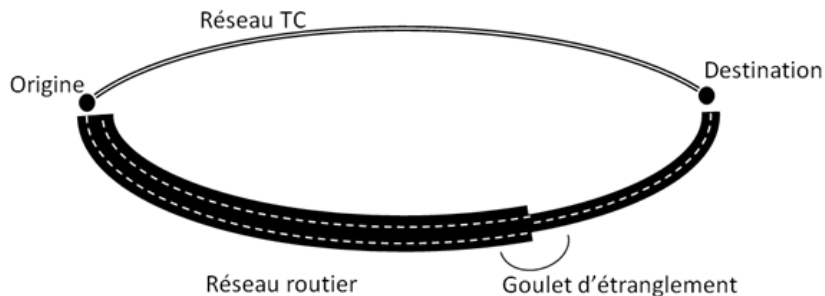
Différentes fonctions ont été étudiées pour représenter le coût de la congestion en fonction du nombre de passagers (Feifei, 2011 et de Palma, Kilani et Proost, 2013).

Revue de littérature

- Cadre théorique du déshorage (Vickrey, 1969).
- Modélisation du réseau routier issue de Arnott, de Palma et Lindsey, 1990.
- Tabuchi (1993) a le premier introduit cette analyse dans les TC.

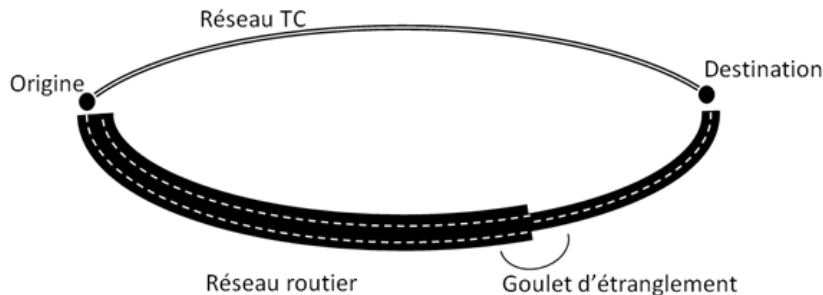
- Huang (2000) - Concurrence modale et hétérogénéité des voyageurs.
- Mirabel et Reymond (2011) - Redistribution du péage.
- Gonzales et Daganzon (2012) - VP et TC sur le même réseau.

Le modèle global - équilibre de Wardrop



- N navetteurs tels que $N = N_{TC} + N_{VP}$
- Equilibre de Wardrop $\iff CG_{TC}(N_{TC}) = CG_{VP}(N_{VP})$
où CG_i est le coût généralisé d'un déplacement avec le mode i .

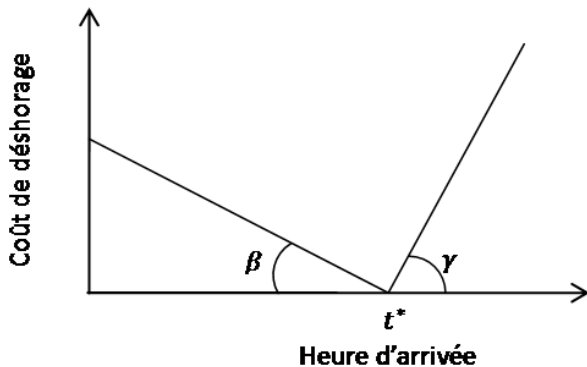
Le modèle global - équilibre de Wardrop



- N navetteurs tels que $N = N_{TC} + N_{VP}$
- Equilibre de Wardrop $\iff CG_{TC}(N_{TC}) = CG_{VP}(N_{VP})$
où CG_i est le coût généralisé d'un déplacement avec le mode i .

\implies Expressions pour tout N de $CG_{TC}(N)$ et $CG_{VP}(N)$?

Le modèle global - Principe du déshorage



- t^* : heure préférée d'arrivée (identique pour les N navetteurs)
- β : coût d'une minute d'avance
- γ : coût d'une minute de retard

Sous-modèle 1 - réseau TC - Hypothèses

Nous reprenons les hypothèses du cadre théorique défini par Arnott et al, (1990):

- N navetteurs identiques, résidant au même endroit et souhaitant arriver à la même destination à l'heure t^* .
- La variable de stratégie est l'heure de départ, les navetteurs effectuent un arbitrage entre avance, retard et congestion.
- Le temps est continu.

Hypothèses spécifiques au sous-modèle TC :

- Il y a un continuum de services TC, c'est à dire que le temps d'attente au quai est toujours nul.
- Le temps de transport TC est constant quelque soit l'heure de départ.

Sous-modèle 1 - réseau TC - Formalisation

Coût généralisé supporté par l'utilisateur pour une arrivée en t :

$$CG(t) = \underbrace{\kappa}_{\text{monétaire}} + \underbrace{\alpha_{TC} t t_{TC}}_{\text{temps}} + \underbrace{\beta (t^* - t)^+ + \gamma (t - t^*)^+}_{\text{horaire}} + \underbrace{f(n_t)}_{\text{congestion}}$$

- κ : prix du ticket
- α_{TC} : coût d'une minute de transport TC
- $t t_{TC}$: temps de transport, constant
- n_t : nombre d'utilisateurs TC partant en t
- $f(n_t)$: coût de la congestion, $f' > 0$, $f'' > 0$

Sous-modèle 1 - réseau TC - Formalisation

Coût généralisé supporté par l'utilisateur pour une arrivée en t :

$$CG(t) = \underbrace{\kappa}_{\text{monétaire}} + \underbrace{\alpha_{TC} t t_{TC}}_{\text{temps}} + \underbrace{\beta (t^* - t)^+ + \gamma (t - t^*)^+}_{\text{horaire}} + \underbrace{f(n_t)}_{\text{congestion}}$$

- κ : prix du ticket
- α_{TC} : coût d'une minute de transport TC
- $t t_{TC}$: temps de transport, constant
- n_t : nombre d'utilisateurs TC partant en t
- $f(n_t)$: coût de la congestion, $f' > 0$, $f'' > 0$

⇒ Equilibre de Nash en stratégies pures, le temps de départ étant la variable stratégique.

Sous-modèle 1 - réseau TC - Formalisation

Coût généralisé supporté par l'utilisateur pour une arrivée en t :

$$CG(t) = \underbrace{\kappa}_{\text{monétaire}} + \underbrace{\alpha_{TC} t t_{TC}}_{\text{temps}} + \underbrace{\beta (t^* - t)^+ + \gamma (t - t^*)^+}_{\text{horaire}} + \underbrace{f(n_t)}_{\text{congestion}}$$

- κ : prix du ticket
- α_{TC} : coût d'une minute de transport TC
- $t t_{TC}$: temps de transport, constant
- n_t : nombre d'utilisateurs TC partant en t
- $f(n_t)$: coût de la congestion, $f' > 0$, $f'' > 0$

⇒ Equilibre de Nash en stratégies pures, le temps de départ étant la variable stratégique.

Sous-modèle 1 - réseau TC - Solution graphique 1

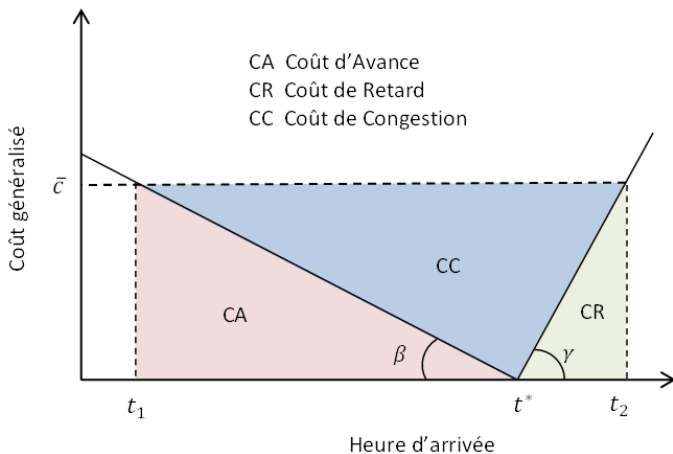


Figure 1 : Composition du coût généralisé à l'équilibre

Sous-modèle 1 - réseau TC - Solution graphique 2

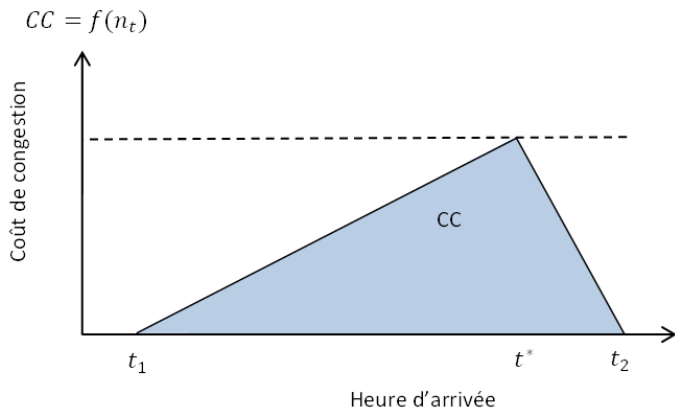


Figure 2 : Coût de congestion

Sous-modèle 1 - réseau TC - Solution graphique 3

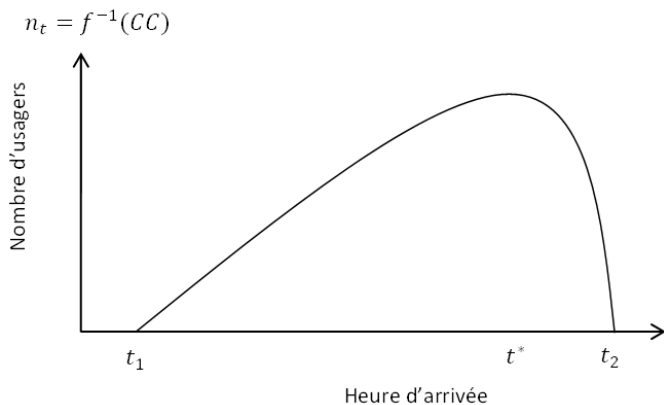


Figure 3 : Fonction de densité

Sous-modèle 1 - réseau TC - Solution analytique

Il suit

$$N_{TC} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\bar{c}} f^{-1}(u) du$$

où $\delta = \frac{\beta\gamma}{\beta+\gamma}$.

Sous-modèle 1 - réseau TC - Solution analytique

Il suit

$$N_{TC} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\bar{c}} f^{-1}(u) du$$

où $\delta = \frac{\beta\gamma}{\beta+\gamma}$. Nous posons $H(x) = \int_0^x f^{-1}(t) dt$ et notons que $H' > 0$ et $H'' > 0$.

Sous-modèle 1 - réseau TC - Solution analytique

Il suit

$$N_{TC} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\bar{c}} f^{-1}(u) du$$

où $\delta = \frac{\beta\gamma}{\beta+\gamma}$. Nous posons $H(x) = \int_0^x f^{-1}(t) dt$ et notons que $H' > 0$ et $H'' > 0$. Nous écrivons :

$$N_{TC} = \frac{1}{\delta} H(\bar{c}) \iff \bar{c} = G(\delta N_{TC})$$

où $G = H^{-1}$, $G' > 0$ et $G'' < 0$.

Sous-modèle 1 - réseau TC - Solution analytique

Il suit

$$N_{TC} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\bar{c}} f^{-1}(u) du$$

où $\delta = \frac{\beta\gamma}{\beta+\gamma}$. Nous posons $H(x) = \int_0^x f^{-1}(t) dt$ et notons que $H' > 0$ et $H'' > 0$. Nous écrivons :

$$N_{TC} = \frac{1}{\delta} H(\bar{c}) \iff \bar{c} = G(\delta N_{TC})$$

où $G = H^{-1}$, $G' > 0$ et $G'' < 0$. Ainsi,

$$CG_{TC}(N_{TC}) = \kappa + \alpha_{TC} t t_{TC} + G(\delta N_{TC}).$$

Sous-modèle 2 - réseau routier

Les résultats sont issus de Arnott et al, 1990, qui prennent en compte le temps d'attente avant de passer le goulet d'étranglement.

$$CG_{VP}(N_{VP}) = \tau + \alpha_{VP} t t_{VP} + \delta \frac{N_{VP}}{s}$$

avec

- τ le prix du péage (≥ 0)
- $\delta = \frac{\beta\gamma}{\beta+\gamma}$
- s la capacité du goulet d'étranglement.

Equilibre - solution graphique

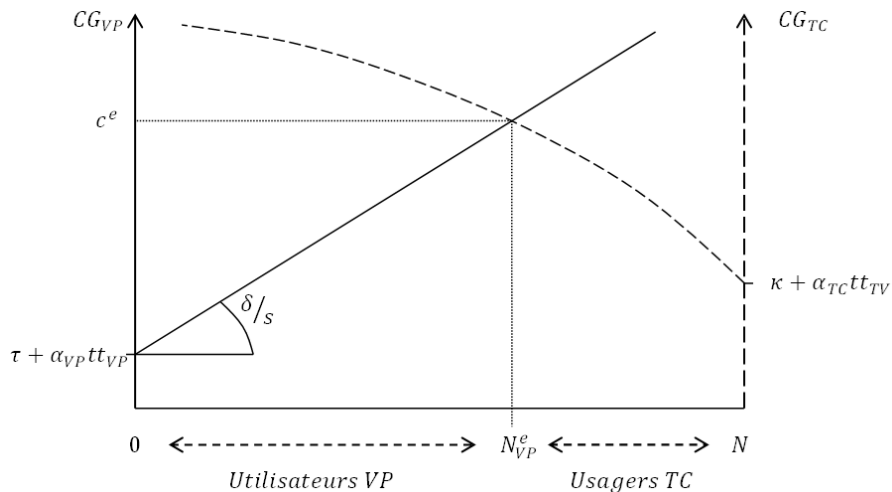
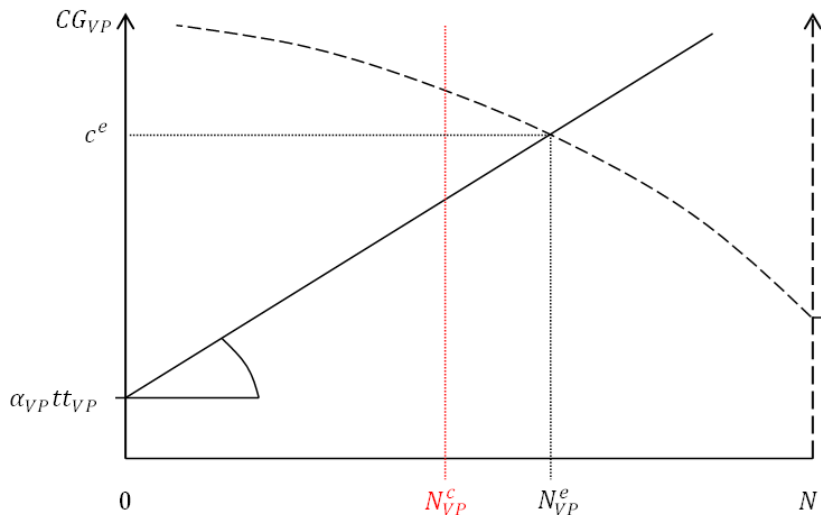
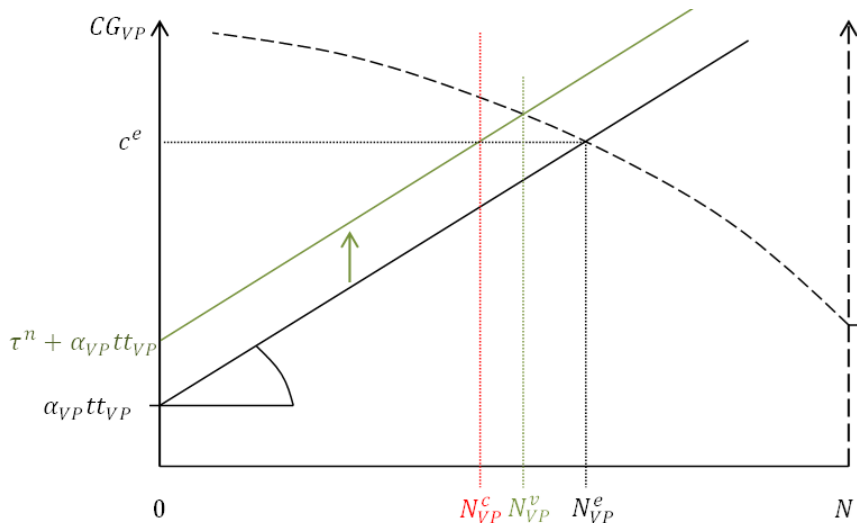


Figure 4 : Equilibre

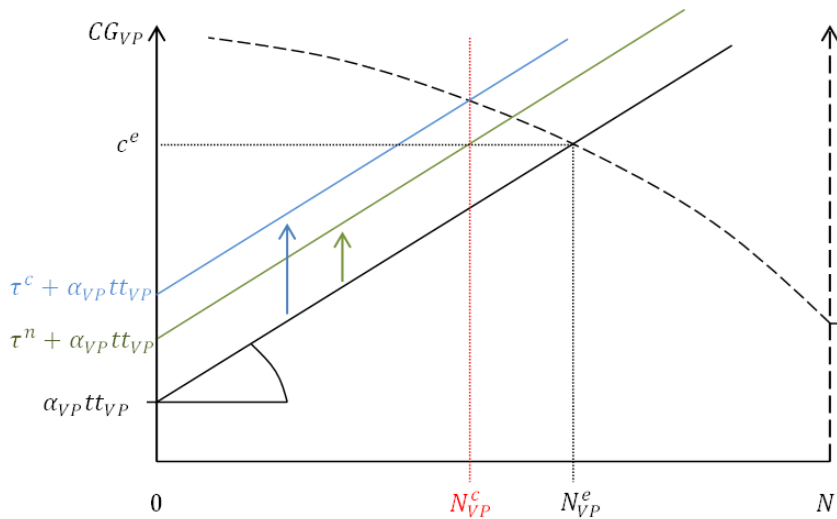
Application - Politique de report modal - Péage



Application - Politique de report modal - Péage



Application - Politique de report modal - Péage



Application 2 - Simulation

- $N = 10000$
- $\alpha_{TC} = \alpha_{VP} = 10\text{€}/\text{h}$
- $\beta = 5\text{€}/\text{h}, \gamma = 20\text{€}/\text{h}$
- $tt_{TC} = 45\text{min}, tt_{VP} = 30\text{min}$
- $s = 5000, f(x) = \frac{x^2}{1000}$
- $\kappa = 1\text{€}, \tau = 0\text{€}$

Application 2 - Simulation

- $N = 10000$
- $\alpha_{TC} = \alpha_{VP} = 10\text{€}/\text{h}$
- $\beta = 5\text{€}/\text{h}, \gamma = 20\text{€}/\text{h}$
- $tt_{TC} = 45\text{min}, tt_{VP} = 30\text{min}$
- $s = 5000, f(x) = \frac{x^2}{1000}$
- $\kappa = 1\text{€}, \tau = 0\text{€}$

Variables	Situation initiale	Politique "naïve"	Politique efficace
Péage	0	2.1€	3.1€
PdM VP	68%	56%	50%
PdM TC	32%	44%	50%
CG	12.8€	13.5€	13.8€
<i>dont cong TC</i>	33%	37%	39%
Rec Péage/ind	-	1.18€	1.57€
Arrivées VP	8:01 - 9:23	8:12 - 9:19	8:17 - 9:17
Arrivées TC	7:24 - 9:38	7:19 - 9:41	7:17 - 9:42

Extension envisagée : Deux groupes de voyageurs

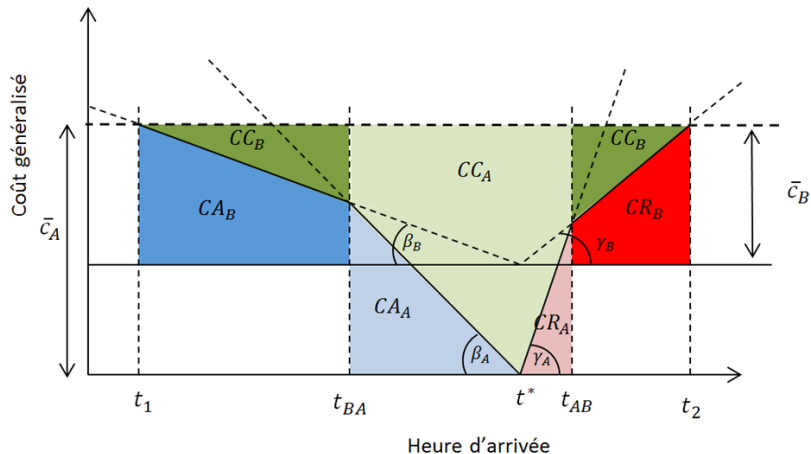


Figure 5 : 2 groupes - $\beta_A > \beta_B$ and $\gamma_A > \gamma_B$

Merci de votre attention.