Estimation des émissions de polluants et de la consommation de carburant du trafic routier[1]

Vincent AGUILÉRA — Antoine TORDEUX

LABORATOIRE VILLE MOBILITÉ TRANSPORT (LVMT)
Université Paris-Est — École des Ponts et Chaussées — IFSTTAR

11ème séminaire francophone est-ouest de socio-économie des transports

Les 24 et 25 mai 2012, à Karlsruhe

[1] Recherche financée en partie par la chaire **VINCI** / **ParisTech** 8L1142 intitulée «Éco-Conception des ensembles bâtis et des infrastructures»

Objectif

- Le **LaDTA** est un **modèle d'affectation et d'écoulement** du **trafic routier** sur un **réseau** développé au LVMT
  - **Modèle agrégé** : les voies de circulation sont des arcs et les intersections sont des noueuds
  - Calcul des **débits et vitesses moyennes par arc** en temps continu, à partir de matrices Origine/Destination
- Notre objectif est de développer un **modèle d'estimation des émissions de polluants** (en sortie d'échappement) et de **la consommation de carburant** qui soit **adapté à LaDTA**

  → Exploration des modèles d'émission
- À terme, le but est d'évaluer l'impact du trafic routier sur la **qualité de l'air** (ex: ZAPA en Ile de France) à l'aide d'un **modèle de dispersion** des polluants développé au CEREA

Les modèles d'émission du trafic routier

- Estimation en **deux étapes** :
  1. Estimation de la **composition du flux** (statique)
  2. Estimation du **facteur d'émission**, par classe de véhicule (fonction de la dynamique du flux)

- Il existe dans la littérature différentes modélisations des facteurs d'émission allant :
  - Des **modèles macroscopiques**, fondés sur la **vitesse moyenne** («stabilisée», *i.e.* le long d'un trajet suffisamment long, ex: COPERT[2]),
  - Aux **modèles microscopiques (modaux)**, fondés sur des **performances instantanées** des véhicules (ex: CMEM[3])

[2] COPERT 4, Ntziachristos & Samaras, 2009; ARTEMIS, Boulter and McCrae, 2007

[3] CMEM, Barth *et al.*, 1996; VT-MICRO, Rakha *et al.*, 2004

Problématique et plan de la présentation

- Les **modèles microscopiques** des facteurs d'émission nécessitent des **performances instantanées peu accessibles**
- Les **modèles macroscopiques** sont **opérationnels** (à des échelles importantes) mais **peu sensibles aux aspects fins des écoulements du trafic** (en congestion)
- L'utilisation de la **distribution des vitesses** des véhicules permet d'obtenir des **estimations plus consistantes** des modèles macroscopiques[4]

Plan de la présentation :

- Propriétés du trafic
- Définition d'un modèle d'émission
- Comparaison des estimations à des modèles connus

[4] Smit *et al.*, 2008. Atmosph. Env. 42(5):916–926

Propriétés observées du trafic

- Distinction de **deux états de trafic** :
  - Un régime dit **libre** (à faible densité), où les **vitesses des véhicules** sont globalement **constantes**
  - Un régime dit **congestionné**, où les **vitesses varient** (file d'attente, trafic en accordéon)

- Plus précisément, les **distributions des vitesses** sont **uni-modales** en régime libre et **bi-modales** en régime congestionné[5]

  $\longrightarrow$ Formation de files d'attente aux intersections[6]

  $\longrightarrow$ Phénomène d'ondes cinématiques induit deux modes de vitesse aux véhicules en file[7]

---

[5] Treiber *et al.*, 2010. Transp. Res. B 44(8-9):983–1000

[6] Herman & Prigogine, 1979, Science, 204(4389):148–151

[7] Manhke *et al.*, 2008. *Physics of stochastic process*. Wiley

Exemples de trajectoires simulées sur un cercle

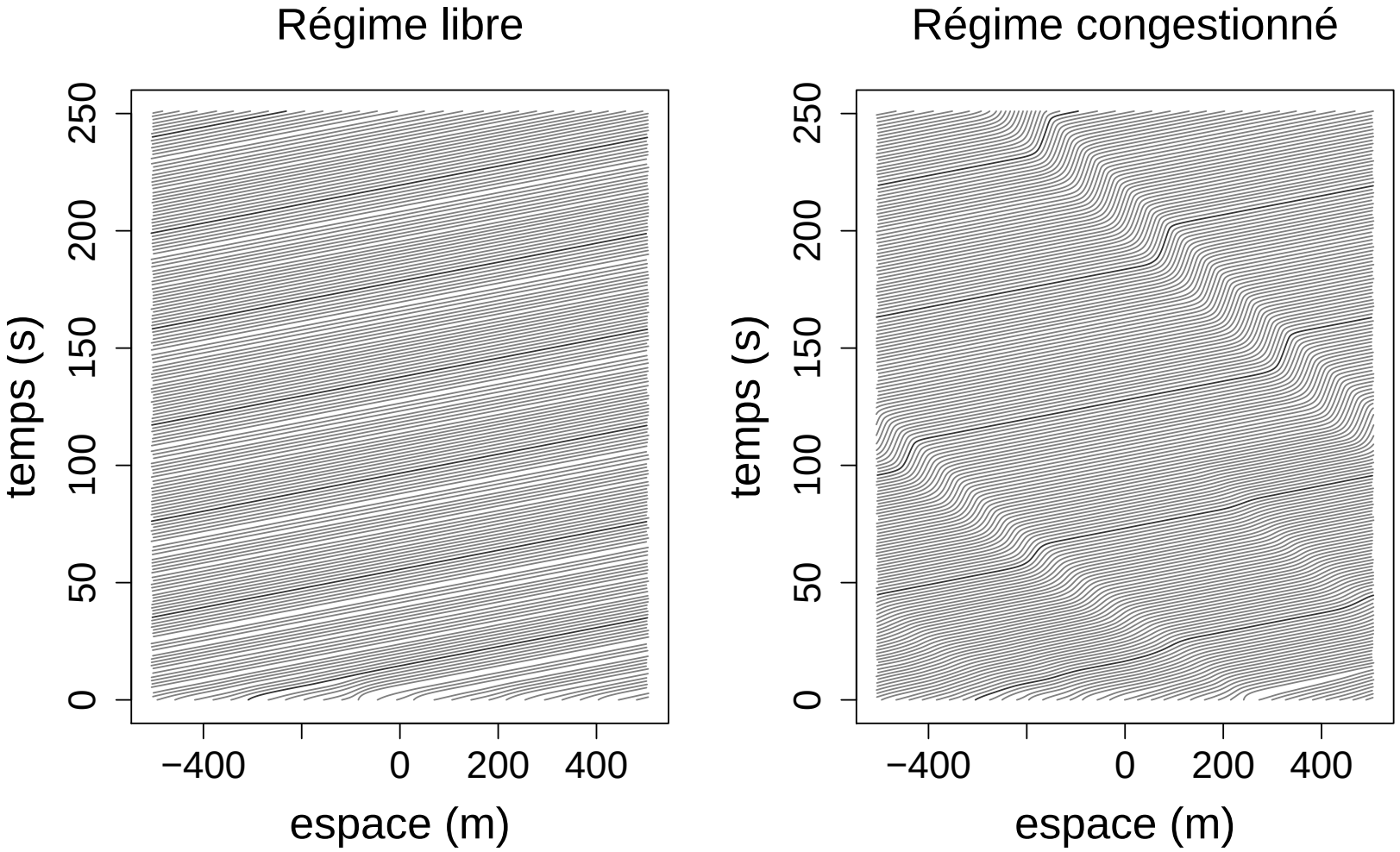
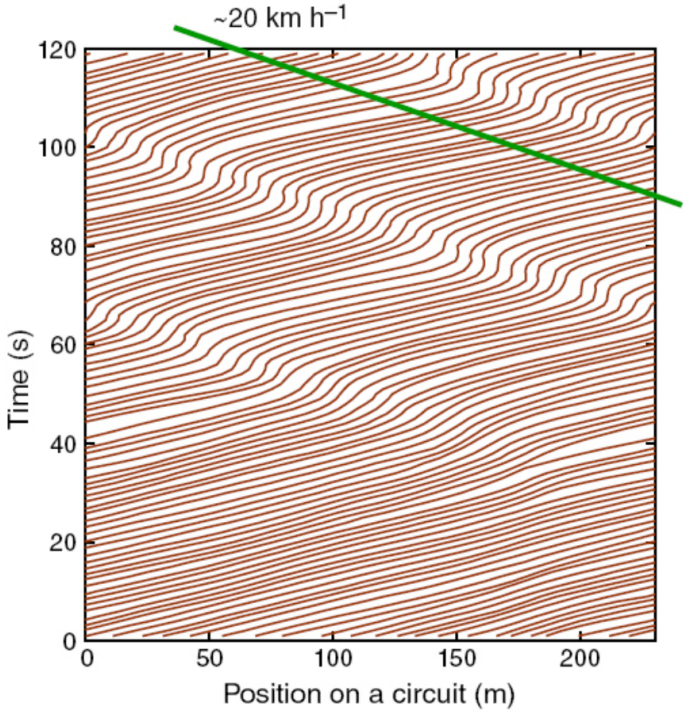


Figure 1: Trajectoires sur un cercle selon deux niveaux de densité, simulation d'un modèle microscopique de trafic

Trajectoires réelles sur un cercle[8]

(movie)

Diagramme d'espace-temps associé[7]



[8] SUGIYAMA *et al.*, 2008. *New J. Phys.* 10-033001

Diagramme fondamental

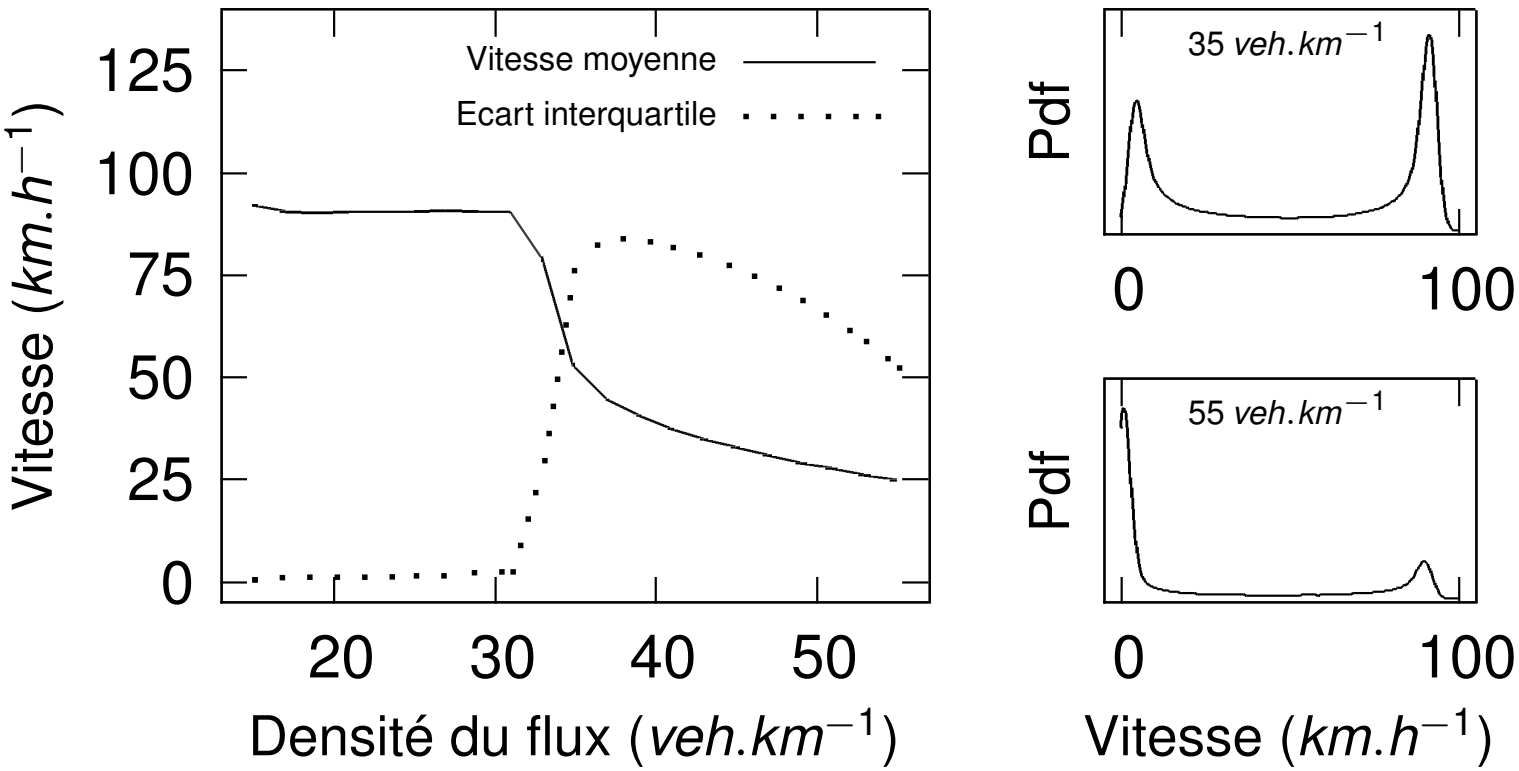


Figure 2: Vitesse moyenne et écart inter-quartile selon le niveau de densité du flux et exemples de distributions des vitesses (simulation)

Définition du modèle BIMODEM

- Modèle d'estimation du **facteur d'émission** $\tilde{\text{EF}}$ (en $[g/km]$) d'un polluant ou de la consommation de carburant fondé sur la **vitesse moyenne**
- Hypothèse d'une **distribution bi-modale** des vitesses :

$$\tilde{\text{EF}}(v, \underline{v}, \overline{v}) = \lambda\, \text{EF}(\overline{v}) + (1 - \lambda)\, \text{EF}(\underline{v}), \quad \lambda = \frac{v - \underline{v}}{\overline{v} - \underline{v}}$$

avec EF un facteur d'émission fonction de la vitesse, v la vitesse moyenne, $\underline{v} \leq \overline{v}$ les vitesses modales à calibrer

- $\overline{v}$ est la **vitesse maximale autorisée**, de sorte que la **distribution** des vitesses est **uni-modale en régime libre**
- $\underline{v}$ est une vitesse constante relativement faible, **caractéristique du trafic en congestion**

Position du modèle

- Le modèle BIMODEM proposé est **macroscopique**, au sens où il est **fondé sur la vitesse moyenne**
- Une **connaissance a priori** du comportement des flux de trafic est introduite avec la **distribution bi-modale** des vitesses
- **Approche macroscopique intermédiaire** entre les modèles fondés sur la **vitesse moyenne**, sur une **classification des états** et sur une **distribution des vitesses**
- **Description plus précise de la dynamique du trafic** qu'une simple vitesse moyenne, au prix de **deux paramètres** :
  - L'un lié à l'**infrastructure** (la vitesse maximale autorisée)
  - Le second est **caractéristique du trafic en congestion** et est à calibrer

Évaluation du modèle

- Évaluation des estimations de la **consommation de carburant**[9] sur des **trajectoires** :
  - **Simulées**, à l'aide d'un modèle de trafic microscopique
  - **Réelles**, obtenues par traitement vidéo
- Utilisation du modèle **CMEM** comme **estimation de référence** et de la fonction de **facteur d'émission COPERT 4**
- **Calibrage** des vitesses modales du modèle :
  - **Vitesse maximale** $\overline{v}$: donnée par l'infrastructure
  - **Vitesse minimale** $\underline{v} = 20\,km/h$

[9] d'automobiles essence EURO 3 de cylindrée comprise entre 1.4 et 2 ℓ

Trajectoires simulées

- Obtenues à l'aide d'un **modèle microscopique de trafic**[10]
- **Véhicules en file** sur un cercle observés en **régime stationnaire** selon :
  - Le **niveau de densité du flux** (variant de 15 à 55 veh/km)
  - La **vitesse maximale** notée ϑ (égale à 90 et 125 km/h)
- Distinction de **deux états de trafic** :
  - Un régime **libre** où les **vitesses des véhicules sont constantes** (égales à la vitesse maximale)
  - Un régime **congestionné** où les **vitesses des véhicules varient** (présence d'ondes cinématiques)

[10] Lassarre *et al.*, 2010 *Transp. Res. B* 44(8-9):1115–1131

Estimations sur les trajectoires simulées

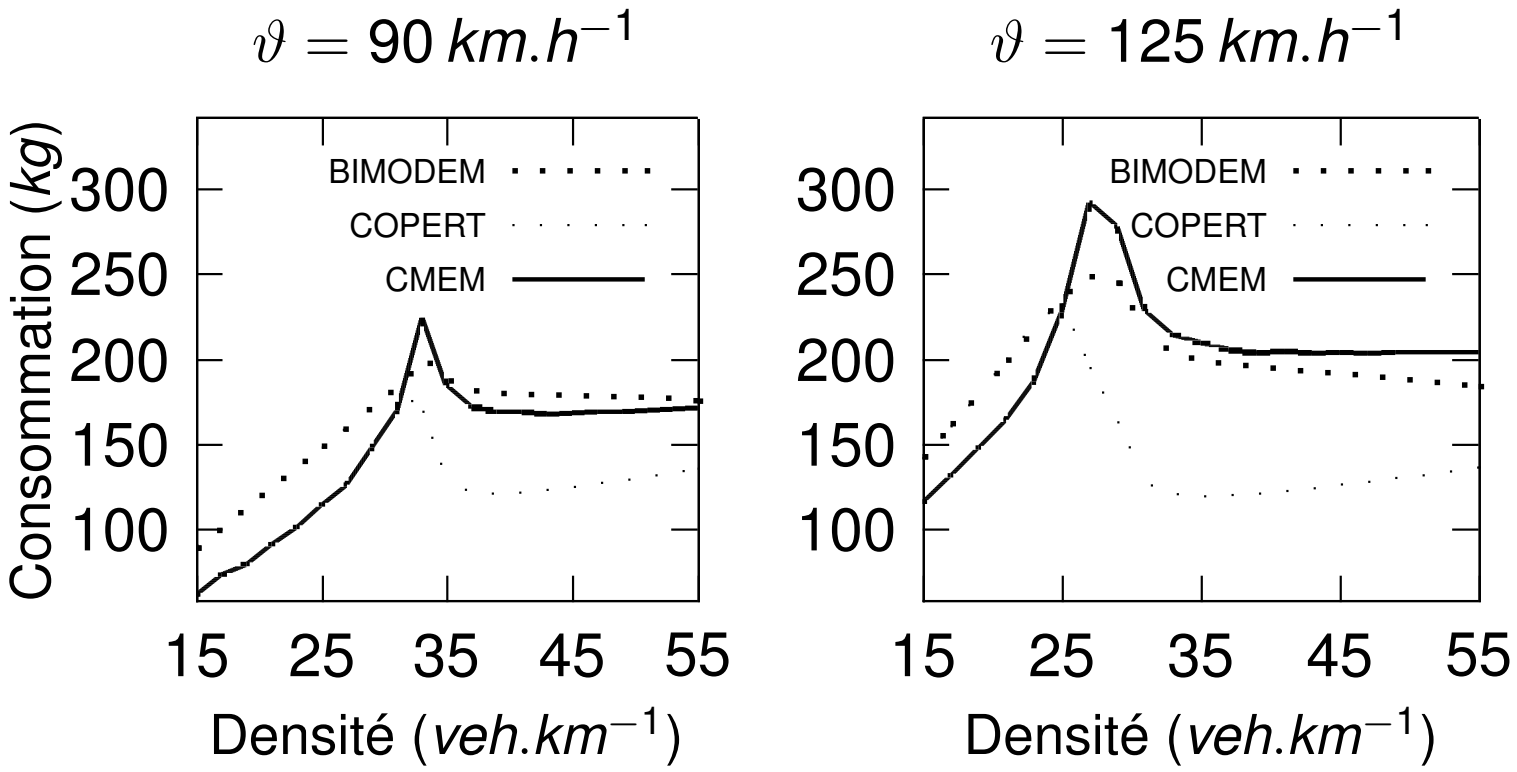


Figure 3: Estimation de la **consommation de carburant** durant une heure sur une voie d'un kilomètre selon le niveau de densité du flux

Utilisation de trajectoires réelles

Données issues du projet américain NGSIM[11]

- 45 *mn* d'observation, portion de 640 *m*, 6101 trajectoires
- Contexte congestionné (vitesse moyenne $\approx 33.2\, km/h$)

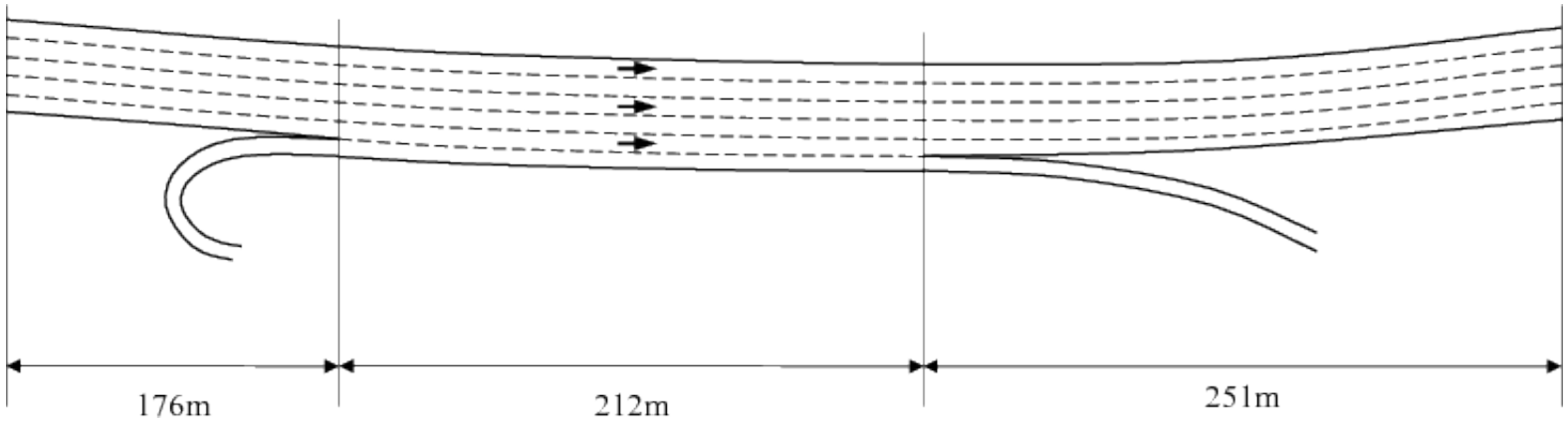


Figure 4: Portion observée : autoroute américaines à 5 voies comportant une voie d'insertion

[11] Échantillon US101 – FHWA. US Department of Transportation, Next Generation SIMulation , 2008. URL `http://ngsim-community.org/`.

Consommation de carburant par trajectoire

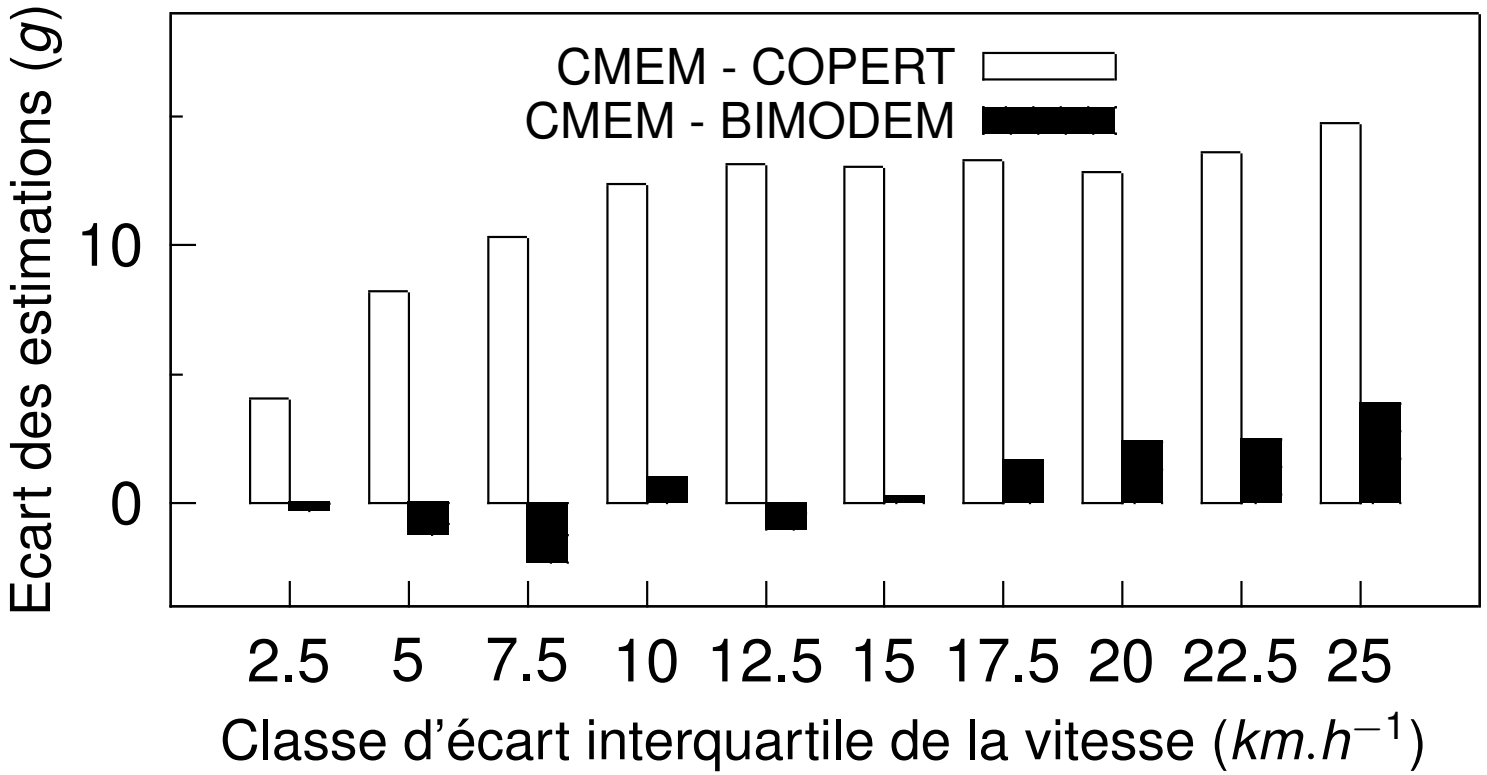


Figure 5: Différences des estimations de la **consommation de carburant** par **trajectoire** et classe d'**écart interquartile** de vitesse
Estim. totale : CMEM 384 *kg*, COPERT 304 *kg*, BIMODEM 376 *kg*

Conclusions et perspectives de travail

Conclusions :

- Les modèles d'émission fondés sur la vitesse moyenne ne sont pas toujours pertinents en congestion lorsqu'ils sont utilisés à des échelles locales
- Supposer que la vitesse moyenne est un mélange de deux modes apparaît alors être un compromis raisonnable

Perspectives de travail :

- Développer des méthodes d'estimation des paramètres du modèle (statistique ou par analyse de modèles de trafic)
- Confronter les estimations à des mesures réelles et évaluer l'apport de la démarche ainsi que son échelle d'application

Merci de votre attention !

Beste Grüsse !