

SimuDay '19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITÉ !



IFSTTAR



www.cerema.fr

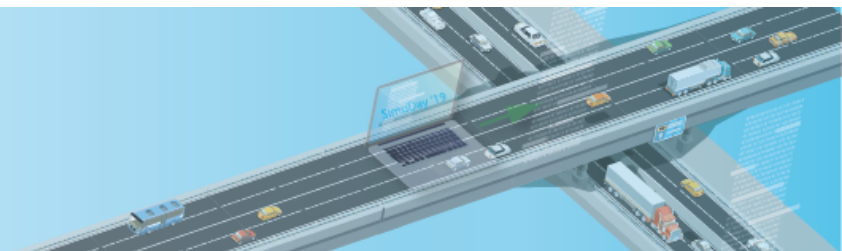
Evaluation des externalités liées au trafic à partir d'une simulation dynamique

Consommation et émissions de polluants

Delphine Lejri – LICIT (ENTPE / IFSTTAR)

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



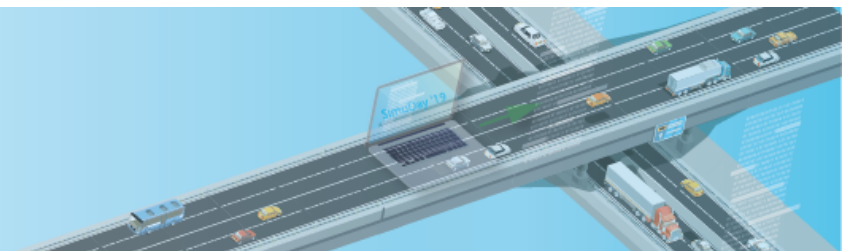
Contexte

- Enjeu climatique et sanitaire
- A la recherche de mesures capables de réduire les GES et d'améliorer la qualité de l'air (réduire les émissions)
- Outil d'aide à la décision : simulation dynamique de trafic (congestion) couplée à des modèles d'émissions => fiabilité?

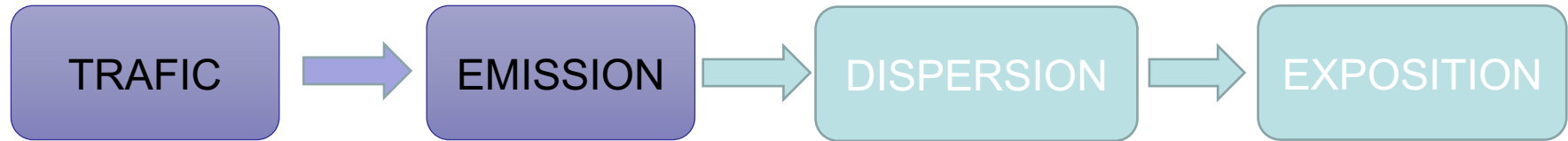


SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

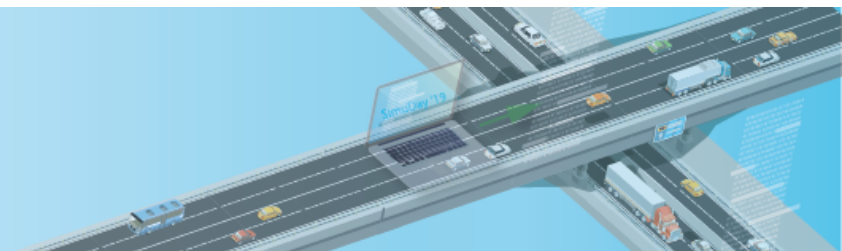


Couplage environnemental

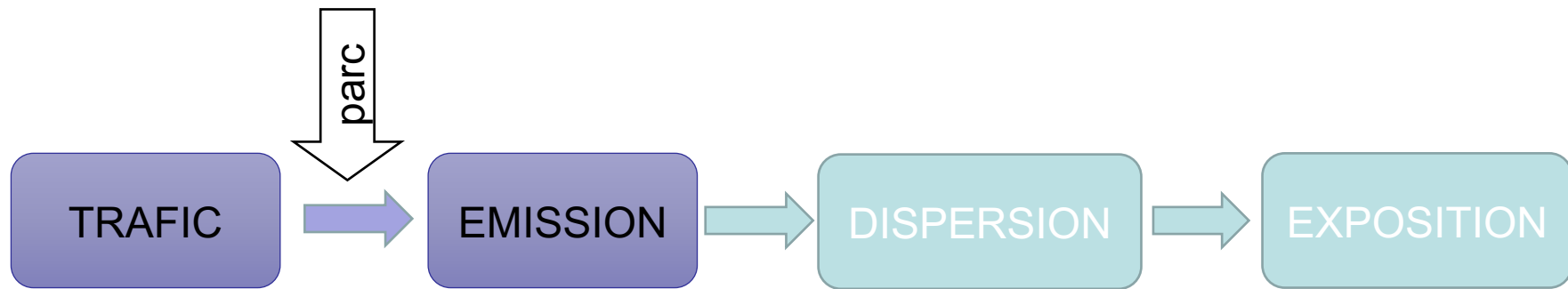


SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

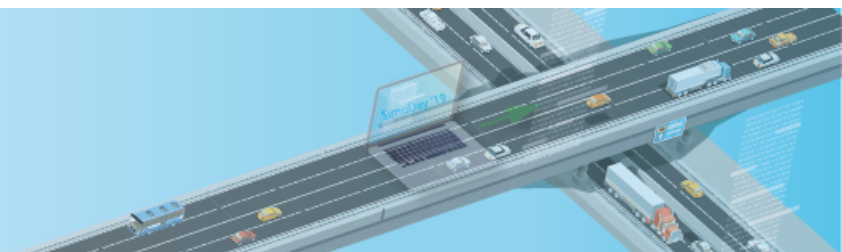


Couplage environnemental

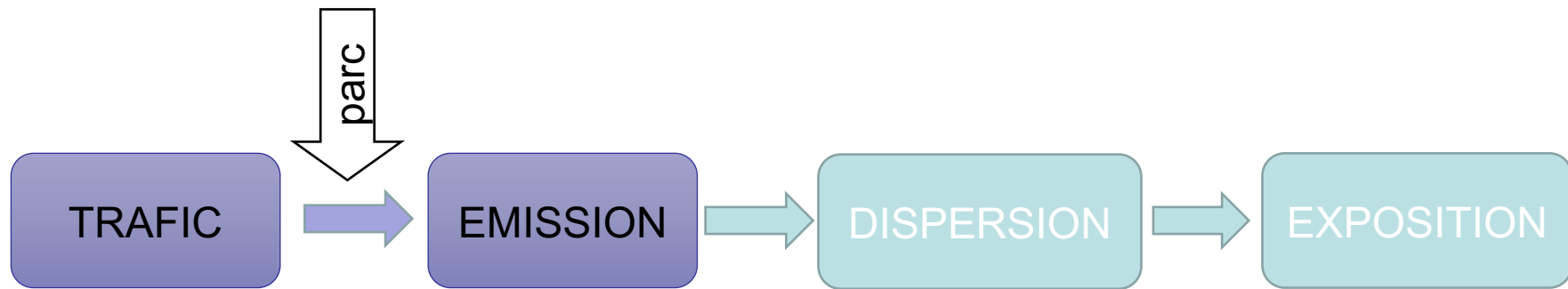


SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Couplage environnemental

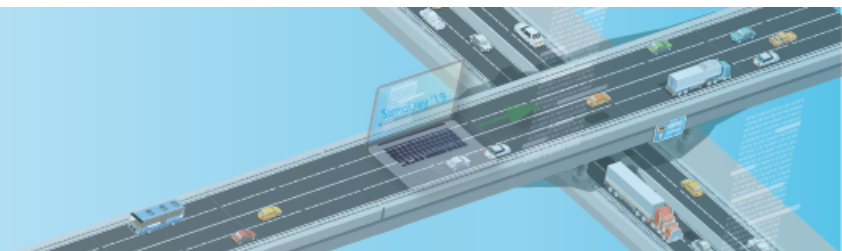


Symuvia

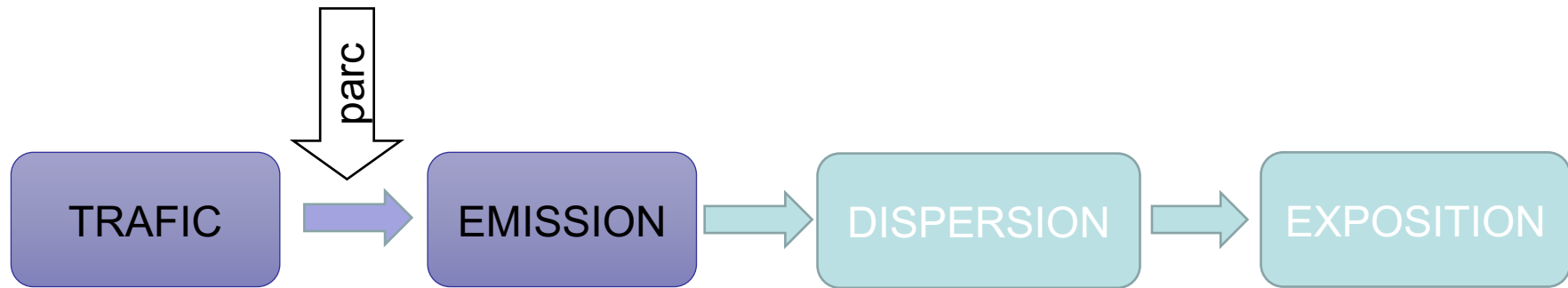
Aimsun micro

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Couplage environnemental



Symuvia

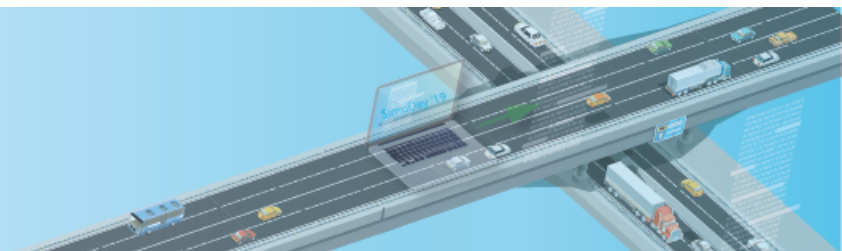
Aimsun micro

Aimsun méso

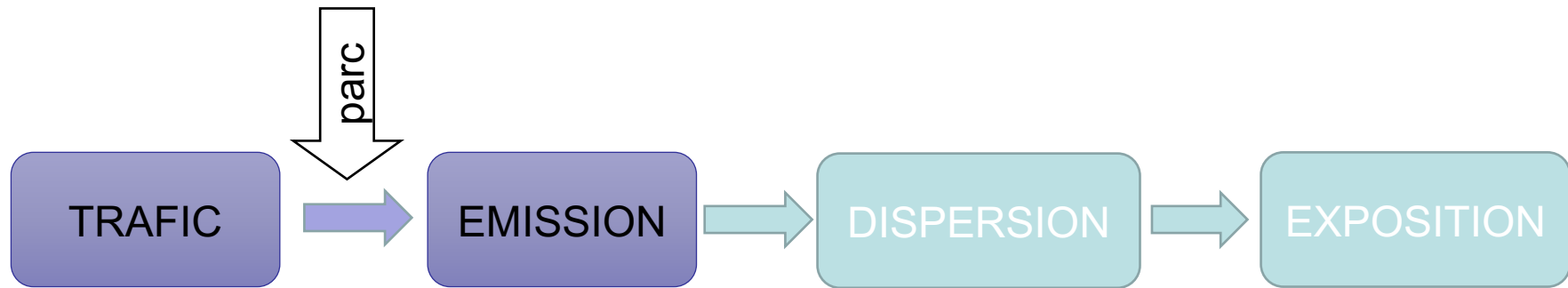
Symures (MFD)

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Couplage environnemental



Symuvia

Phem

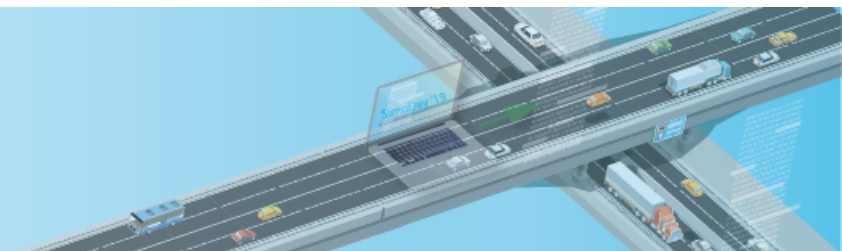
Aimsun micro

Aimsun méso

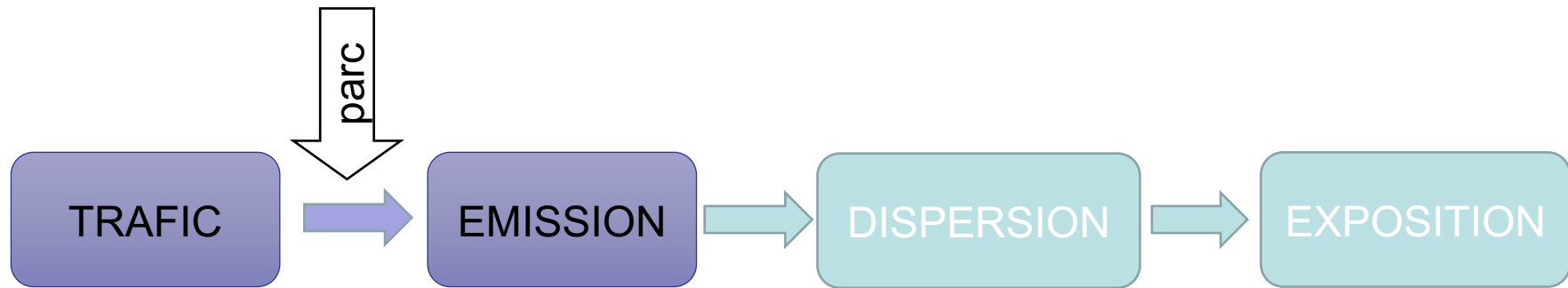
Symures (MFD)

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Couplage environnemental



Symuvia

Phem

Aimsun micro

Aimsun méso

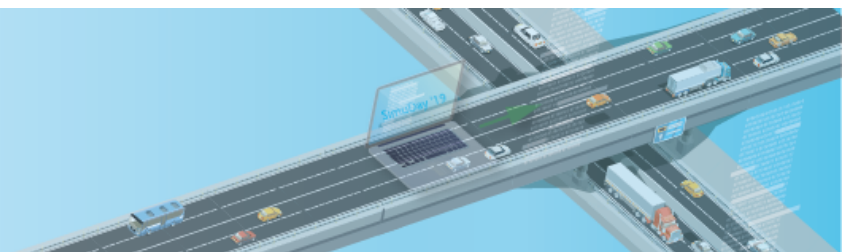
Copert

Symures (MFD)

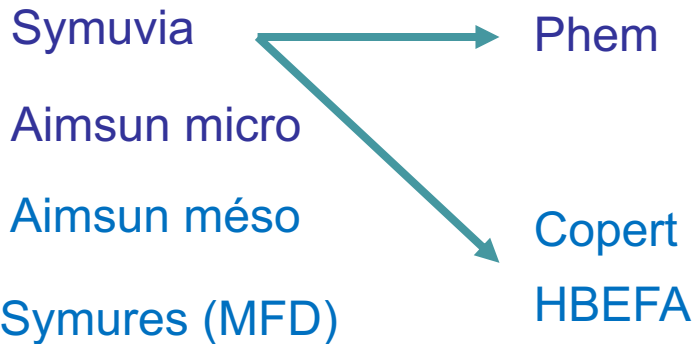
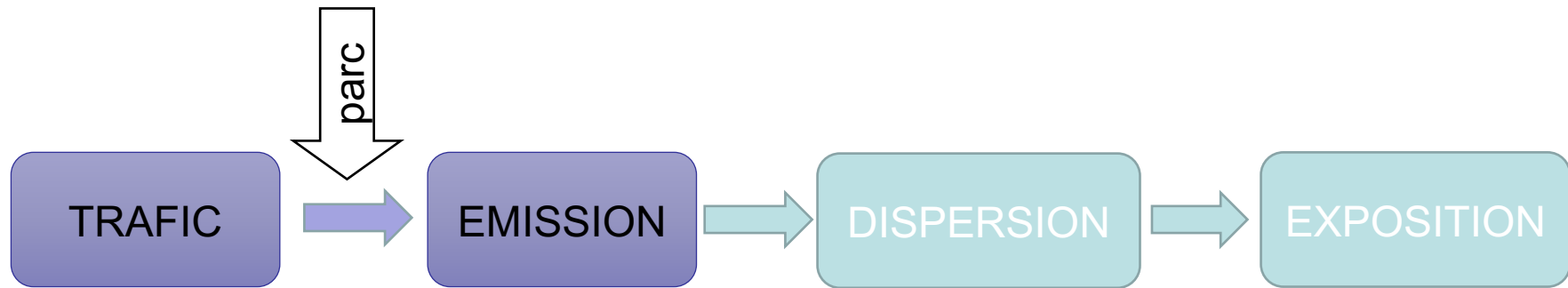
HBEFA

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



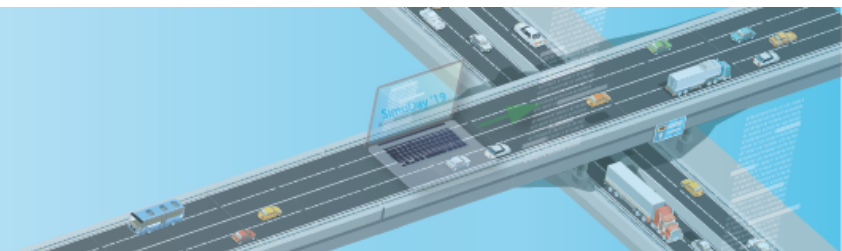
Couplage environnemental



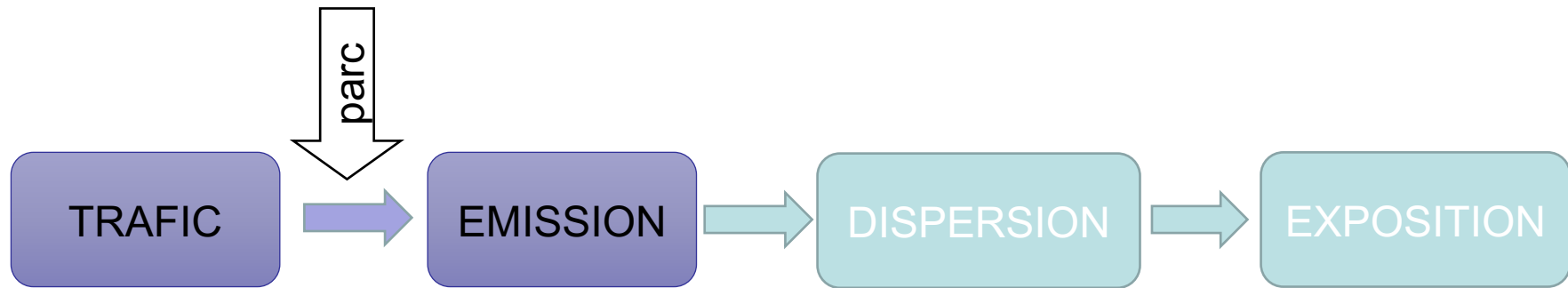
Sensibilité aux
paramètres de trafic

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Couplage environnemental



Symuvia

Aimsun micro

Aimsun méso

Symures (MFD)

Phem

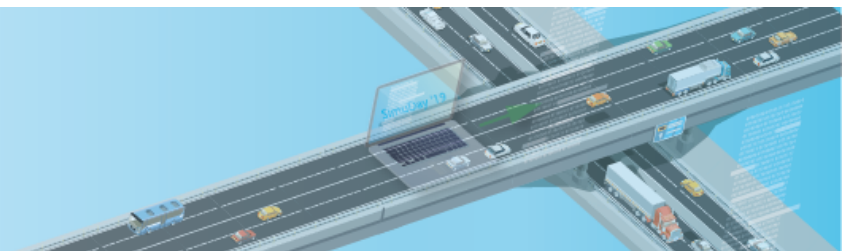
Copert

HBEFA

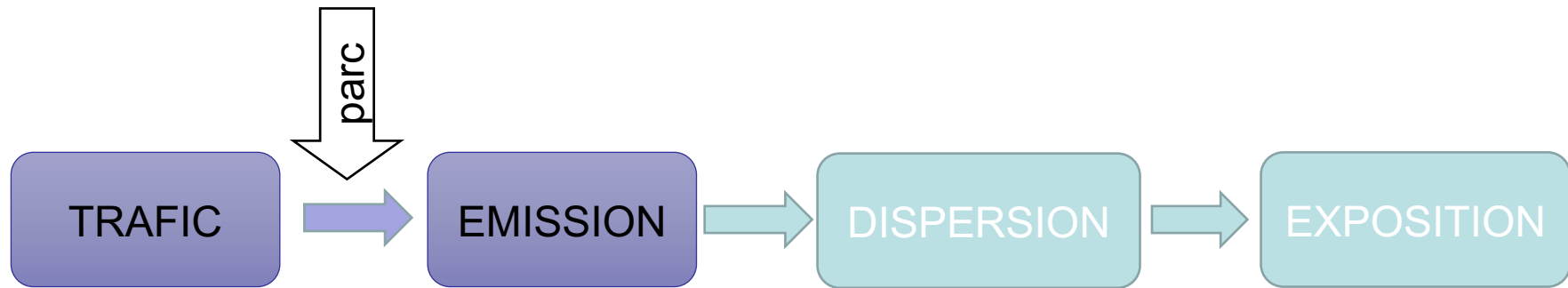
Evaluation de scénarios
d'aménagement

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Couplage environnemental



Symuvia

Aimsun micro

Aimsun méso

Symures (MFD)

Phem

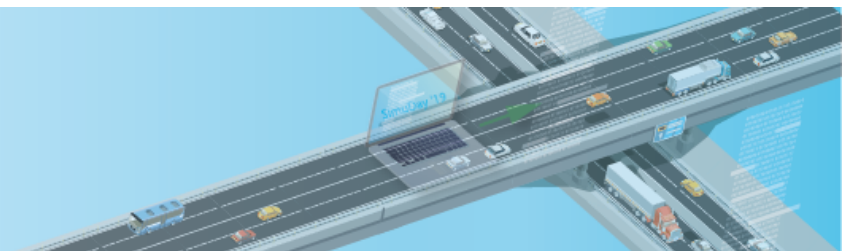
Copert

HBEFA

Gestion du trafic à grande échelle (heure de départ)

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

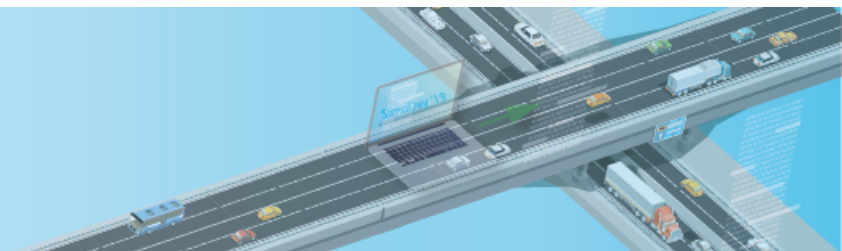


Couplage environnemental

1. Intégration de la dynamique du trafic dans le calcul d'émission
2. Scalabilité des modèles d'émission

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

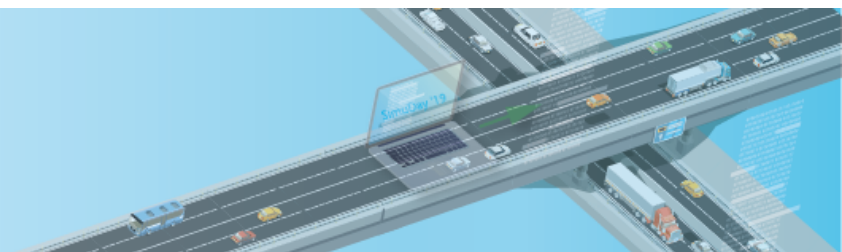


Couplage environnemental

1. Intégration de la dynamique du trafic dans le calcul d'émission
2. Scalabilité des modèles d'émission
3. Evaluation de scénarios d'aménagement

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

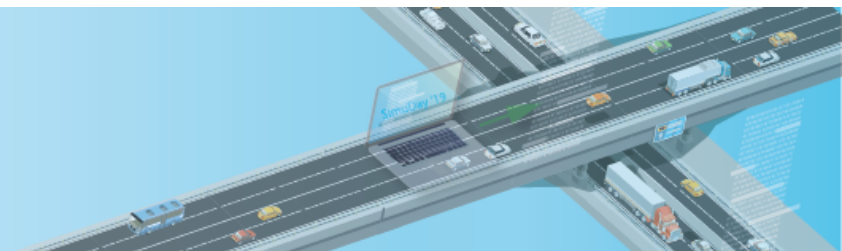


Couplage environnemental

1. Intégration de la dynamique du trafic dans le calcul d'émission
2. Scalabilité des modèles d'émission
3. Evaluation de scénarios d'aménagement
4. Gestion de la demande: impact de l'heure de départ

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



1- Intégration de la dynamique du trafic dans le calcul d'émission

Symuvia => Copert

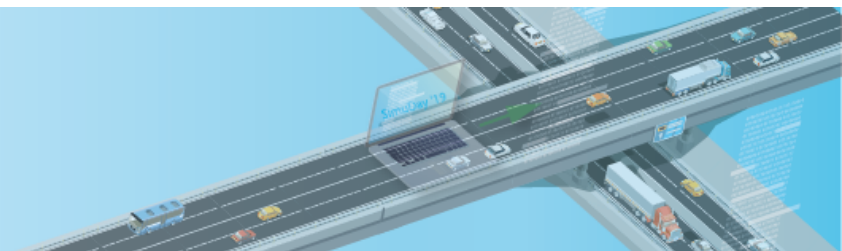
Lejri D., Can A., Schiper N., Leclercq L.

Accounting for traffic speed dynamics when calculating COPERT and PHEM pollutant emissions at the urban scale

Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 63, 2018, Pages 588-603

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



COPERT

Fonctions d'émissions

$$E = D \cdot F(V)$$

F dépend du polluant et de la catégorie de véhicule

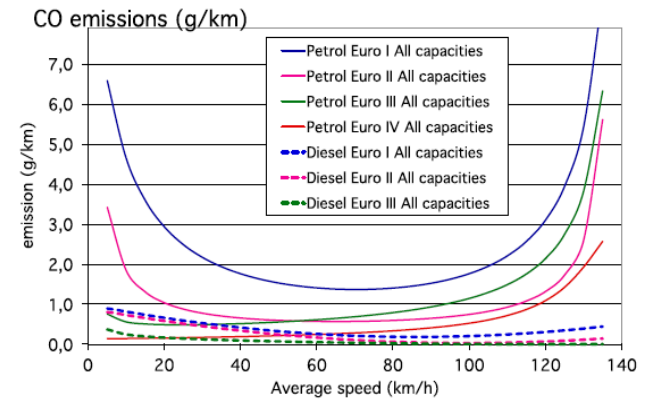
D : distance totale parcourue (km)

V : vitesse moyenne (km/h)

E : émissions à chaud à l'échappement (g)

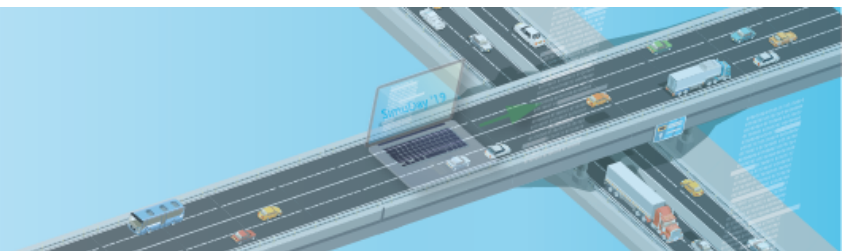


COPERT IV



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Réseau Trafipollu



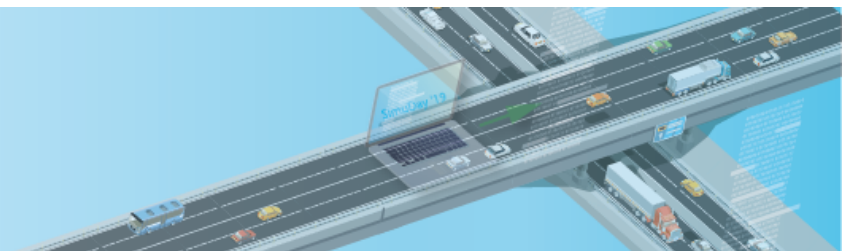
- réseau urbain de 3km²
- Heure de pointe du matin
- Catégories de véhicules : PC, LDV, HGV, Buses
- 2 scénarios de demande

Calculs d'émissions

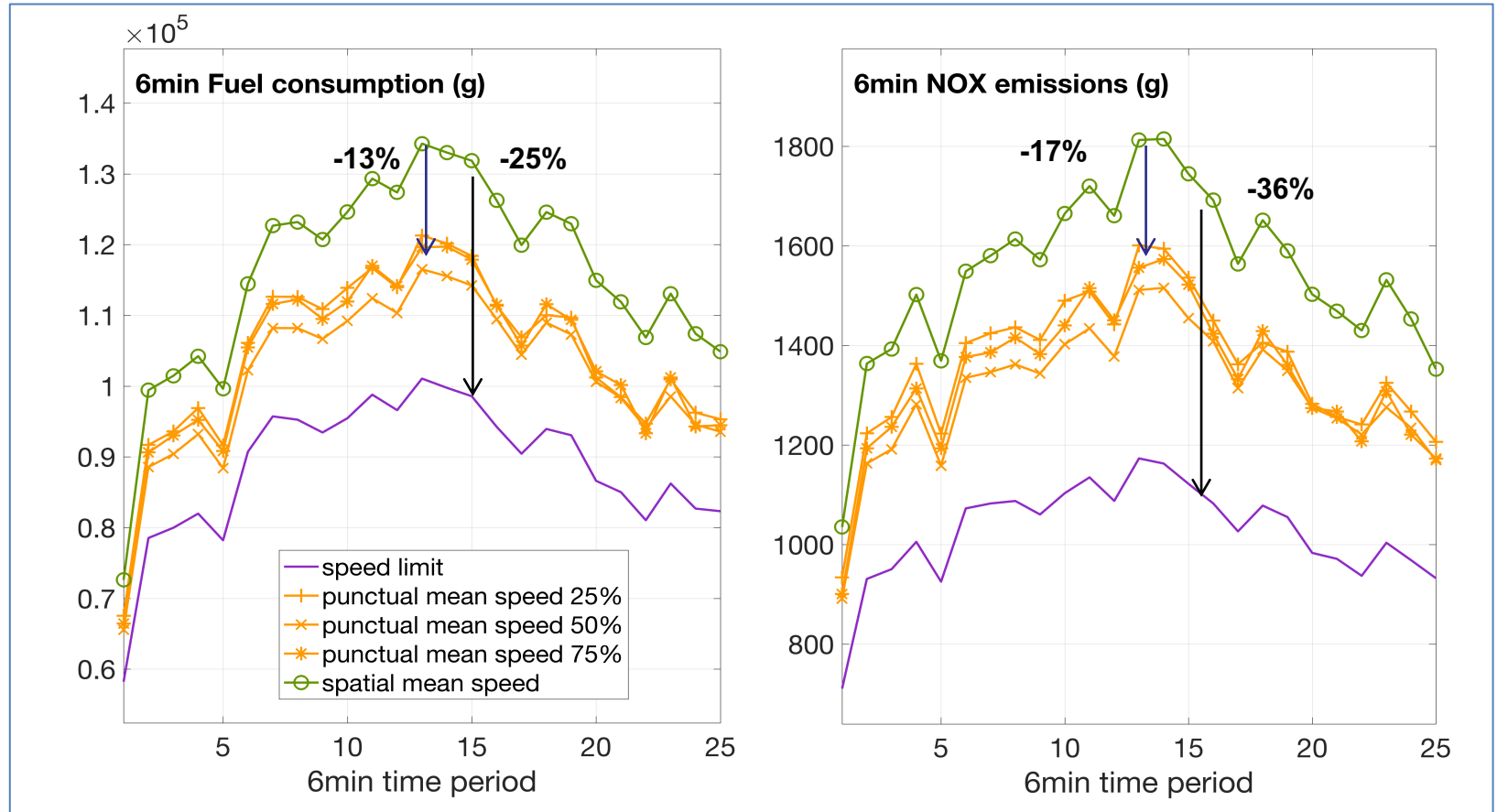
- À l'échelle des liens
- Par période de 6min
- Parc : Ifsttar 2015, urbain

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

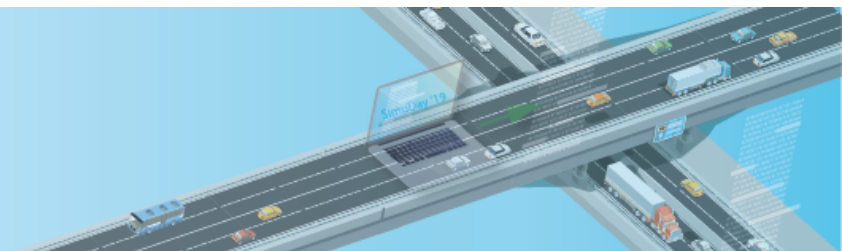


Sensibilité à la vitesse moyenne



SimuDay' 19

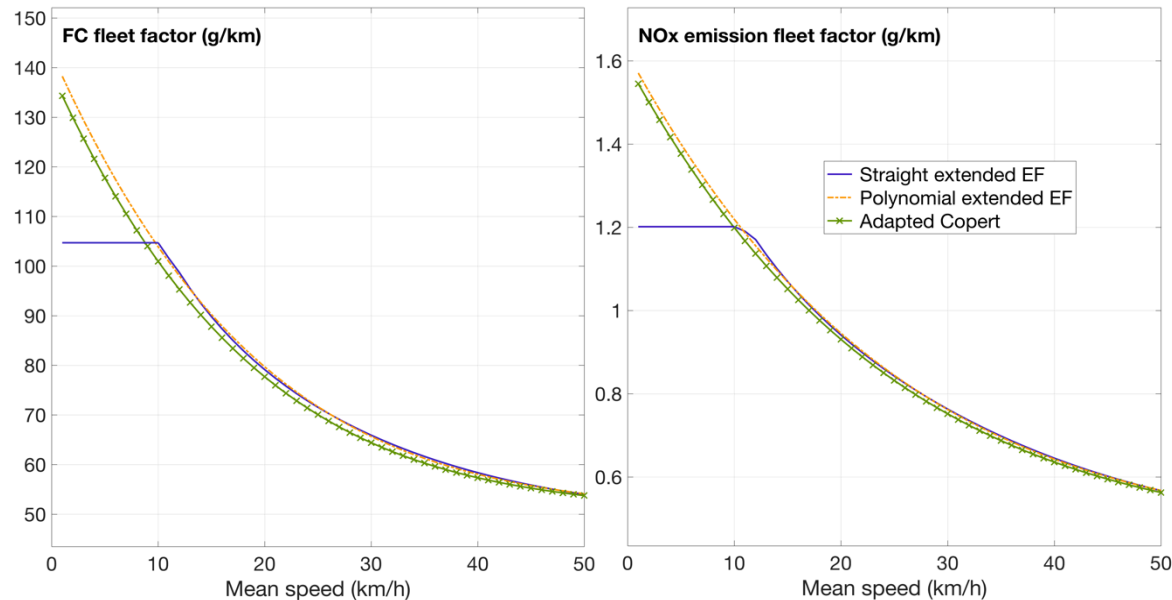
UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Adaptations des courbes Copert IV

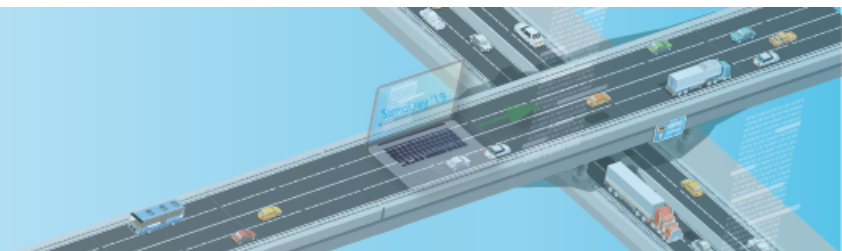
- Nouvelles fonctions **G** compatibles avec les distributions de vitesses

$$F^{k,c}(V) = \int_{V-\alpha}^{V+\alpha} G^{k,c}(w) \cdot d_{\sigma} dw$$

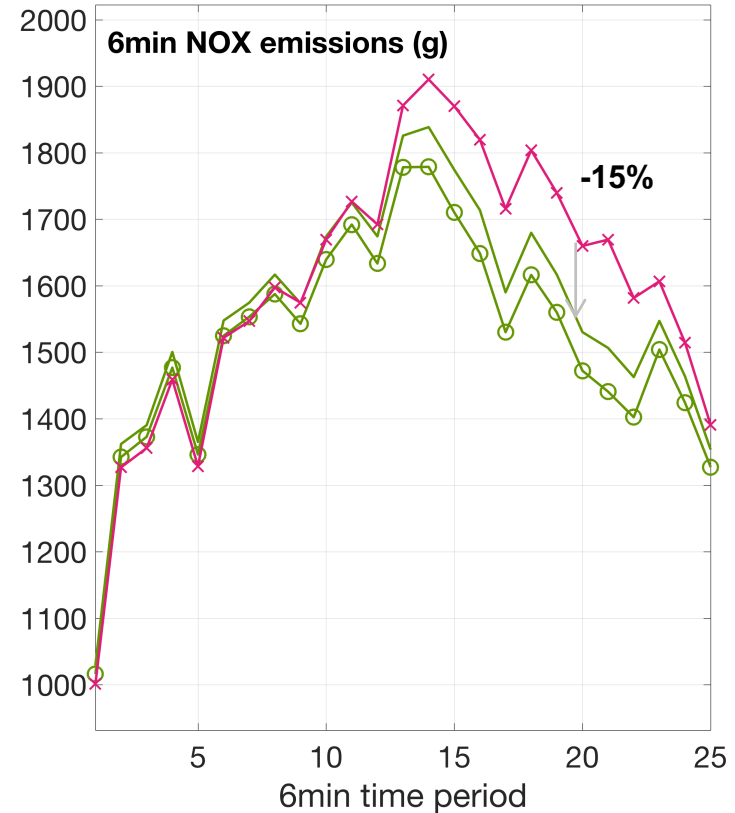
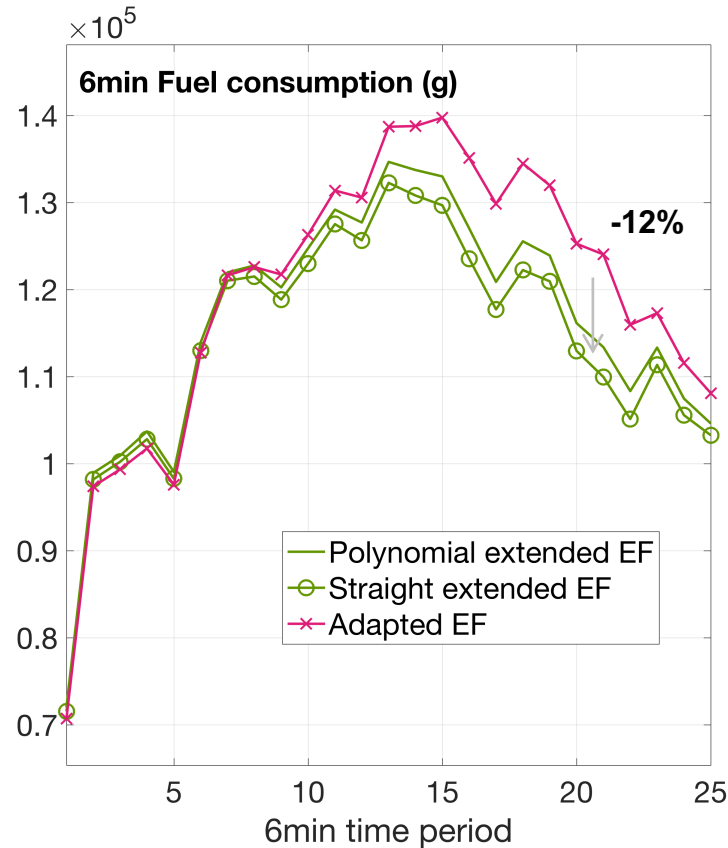


SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

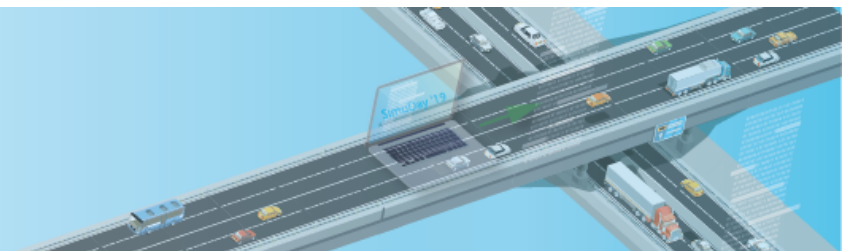


Adaptations des courbes Copert IV



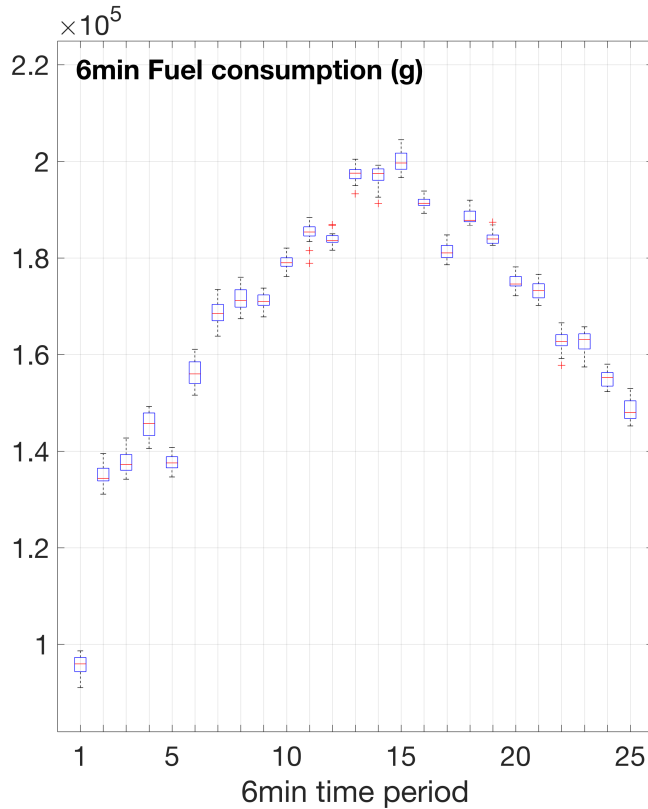
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

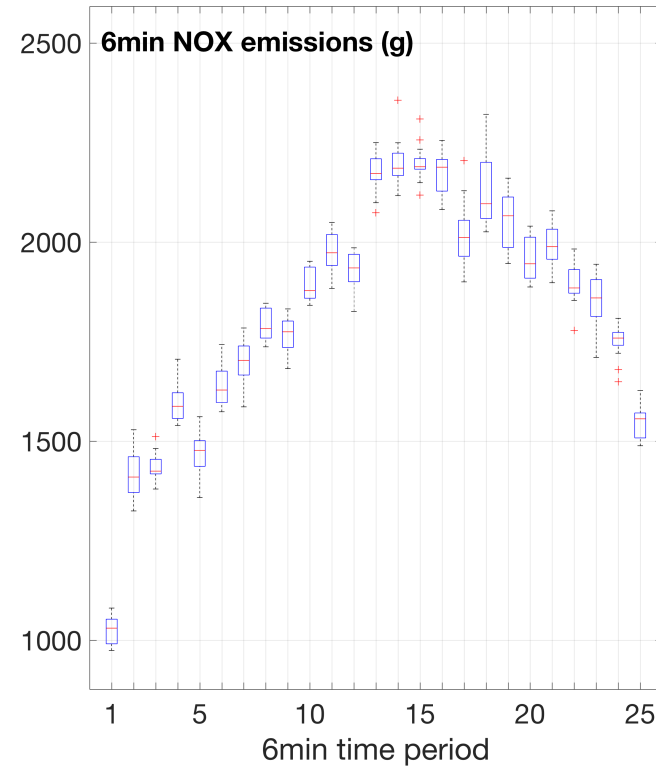


Couplage avec Phem

Affectation aléatoire de la catégorie de véhicules



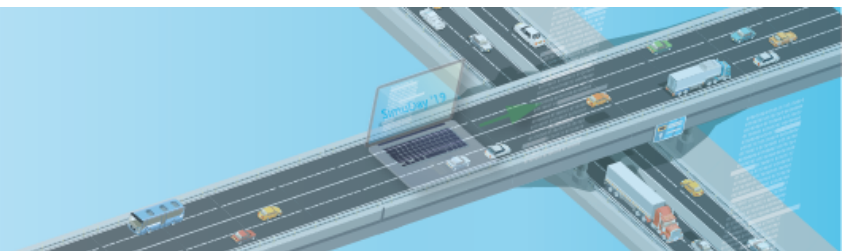
Ecart entre -5.0% et 3.7%



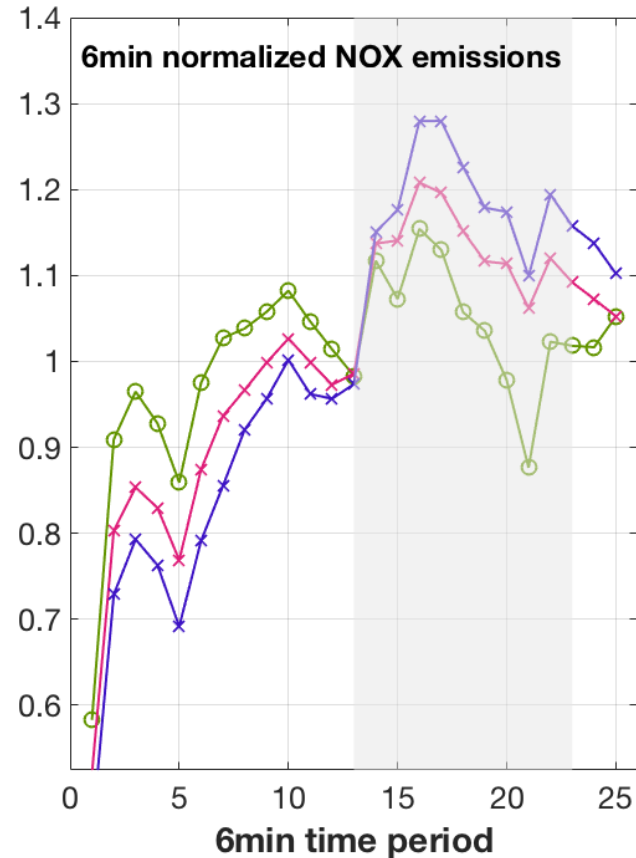
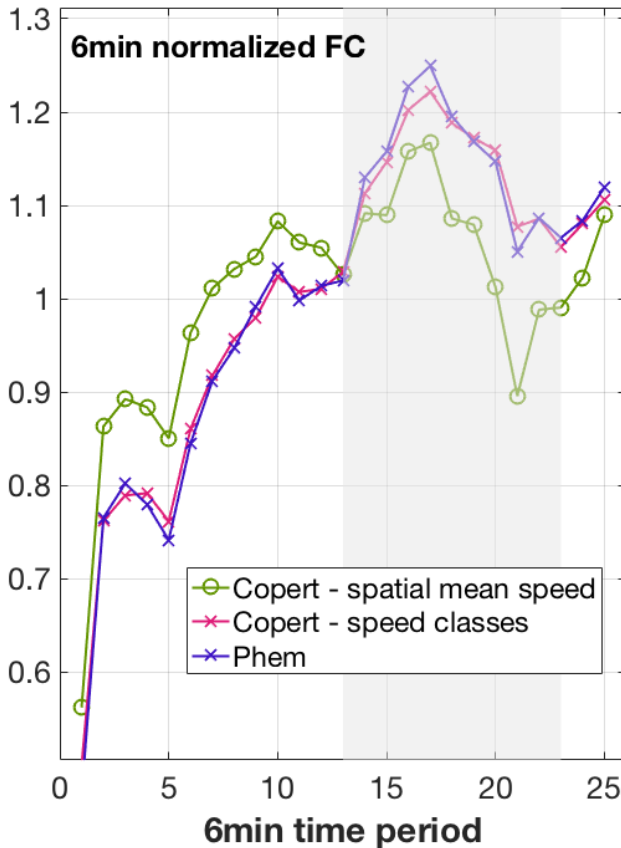
Ecart entre -8.0% et 9.2%

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

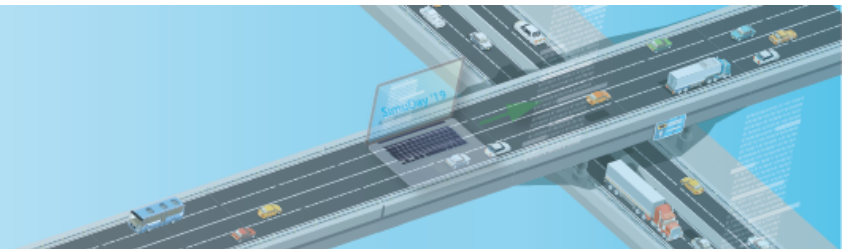


Intégration de la dynamique du trafic



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Intégration de la dynamique du trafic

- Indicateurs de performance pour 2 scénarios de demande

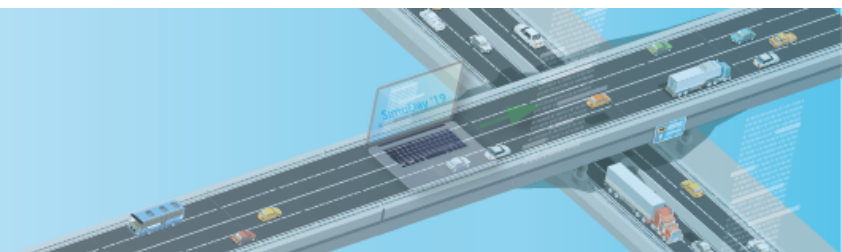
$$\delta = (E_{on} - E_{off}) / E_{total} \times 100$$

$$\Delta = (E_{tot1} - E_{tot2}) / (E_{tot1} + E_{tot2}) \times 100$$

NOx	PHEM	COPERT – speed classes	COPERT – mean speed
δ_1	13.8	10.8	6.7
δ_2	21.0	15.5	6.3
Δ	13.9	9.9	5.6

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



2 - Scalabilité des modèles d'émissions

Symuvia => Copert

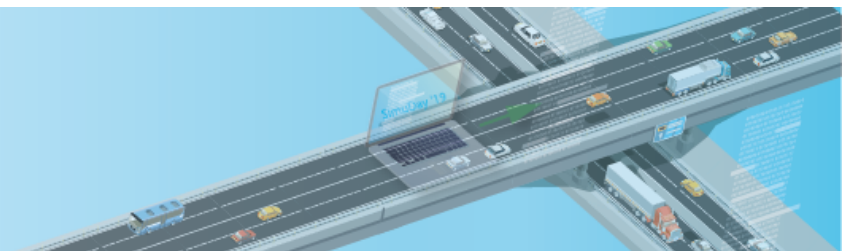
D. Lejri, L. Leclercq

Are average speed emission functions scale-free?

Atmospheric Environment (soumis)

SimuDay' 19

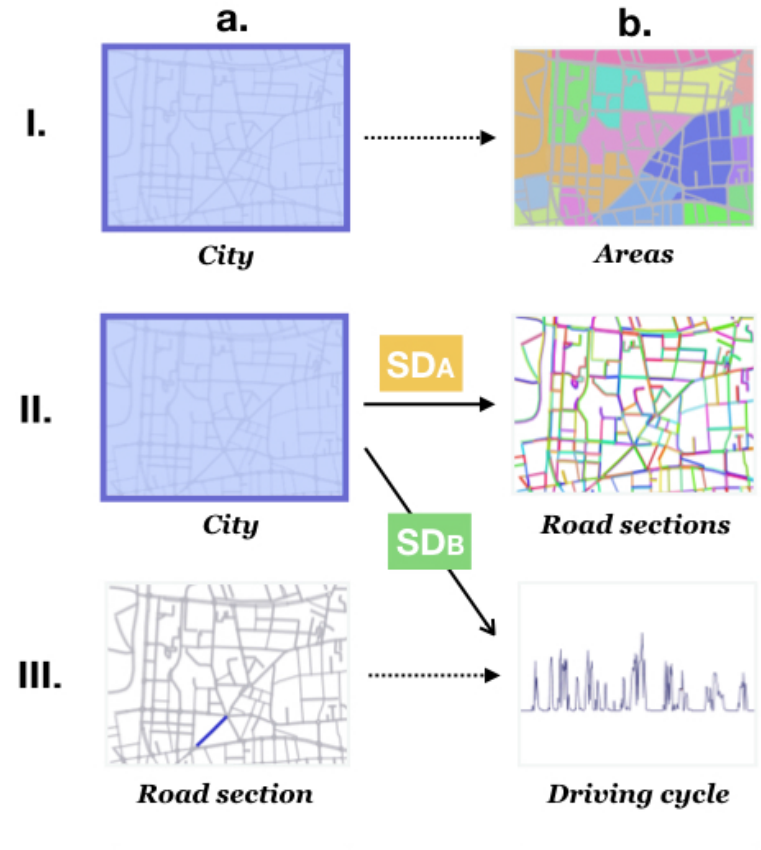
UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Décompositions spatiales

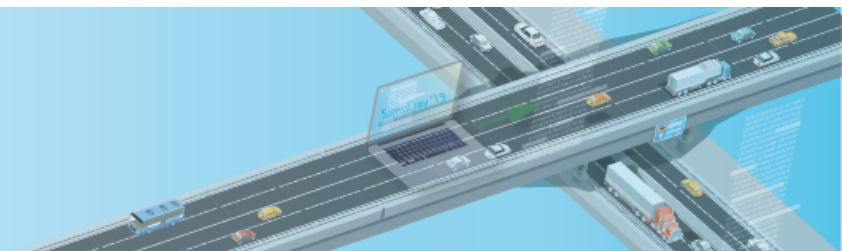
- 2 échelles locales :
liens (SD_A) et véhicules (SD_B)
- 1 échelle globale :
réseau complet
- 1 période temporelle : 6min
- Evaluation du biais

$$\Delta = E_{global} - E_{local}$$



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Formulation du biais

V_d : moyenne pondérée par les distances des vitesses locales

1- Biais réduit avec V_d

$$\begin{aligned}\Delta &= E_{global} - E_{local} = D \cdot \left(f(V_l) - \frac{\sum d_i f(v_i)}{D} \right) \\ &= D \cdot (f(V_l) - f(V_d)) + D \cdot \left(f(V_d) - \frac{\sum d_i f(v_i)}{D} \right)\end{aligned}$$

f supposée polynomiale d'ordre 3

2 – Biais résiduel

$$\begin{aligned}\Delta(V_d) &\approx \Delta^* \\ &= a_2 \cdot D \cdot (V_d^2 - \sum_i \frac{d_i \cdot v_i^2}{D}) + a_3 \cdot D \cdot (V_d^3 - \sum_i \frac{d_i \cdot v_i^3}{D}) \\ &= -a_2 \cdot D \cdot \sigma_d^2 + a_3 \cdot D \cdot (V_d^3 - \sum_i \frac{d_i \cdot v_i^3}{D}) \\ &= D \cdot [(-a_2 - 3\mu a_3)\mu_2 - a_3\mu_3]\end{aligned}$$

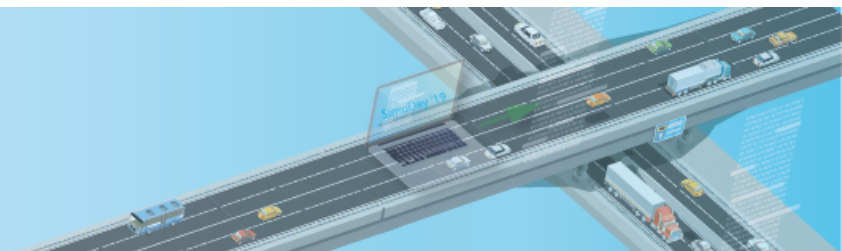
$$\mu = V_d$$

$$\mu_2 = \sigma_d^2 = \frac{1}{\sum d_i} \sum d_i (v_i - V_d)^2$$

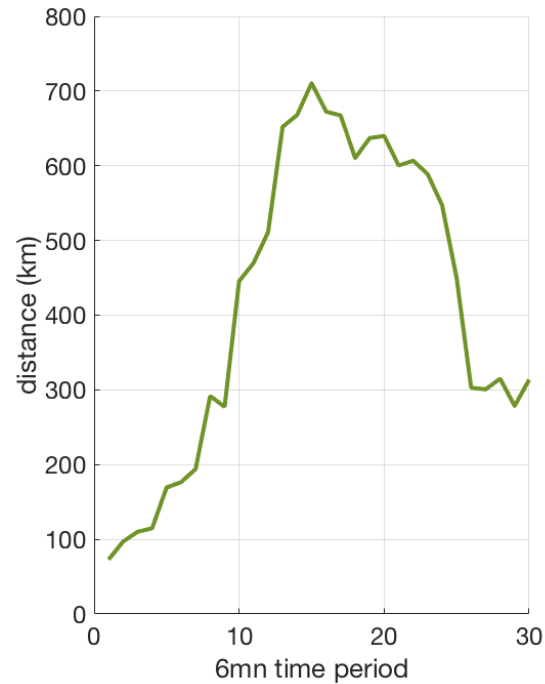
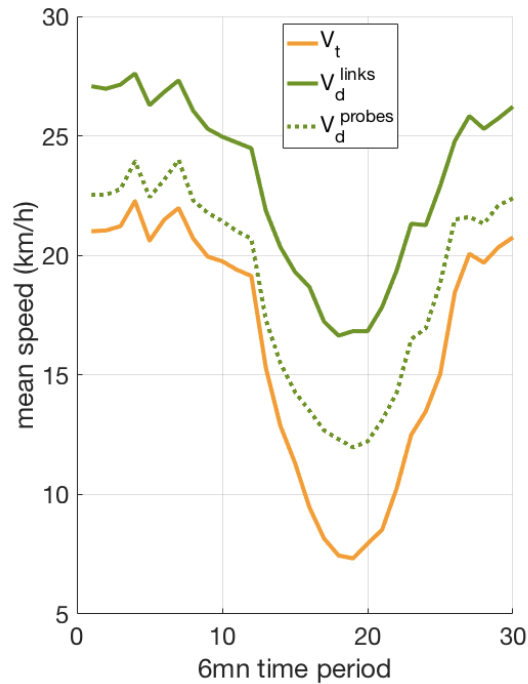
$$\mu_3 = \frac{1}{\sum d_i} \sum d_i (v_i - V_d)^3$$

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

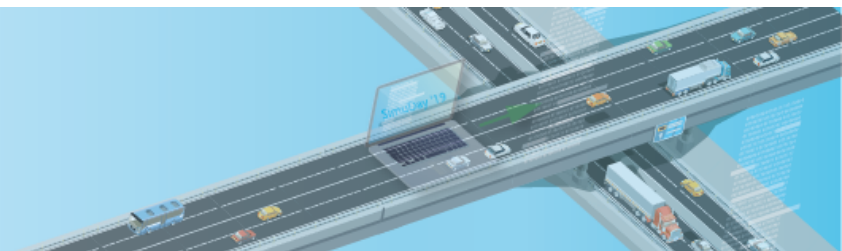


Variables de trafic agrégées



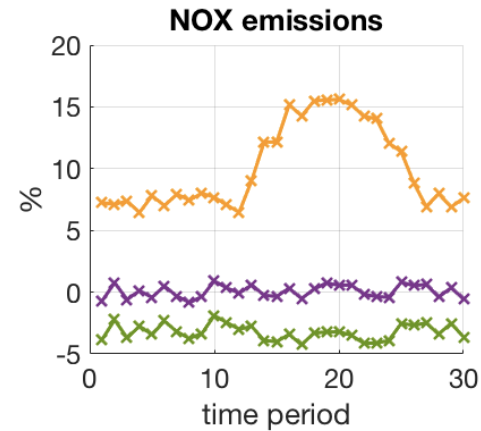
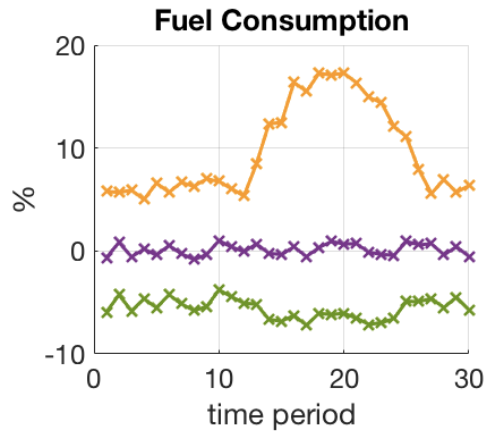
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

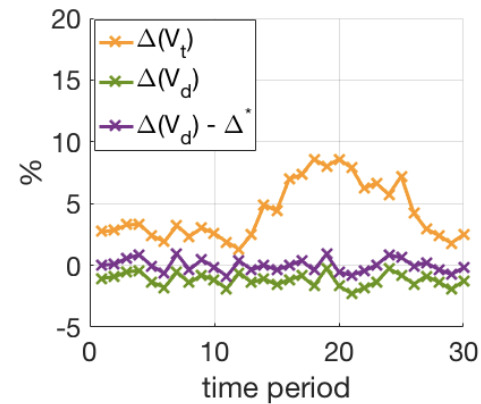
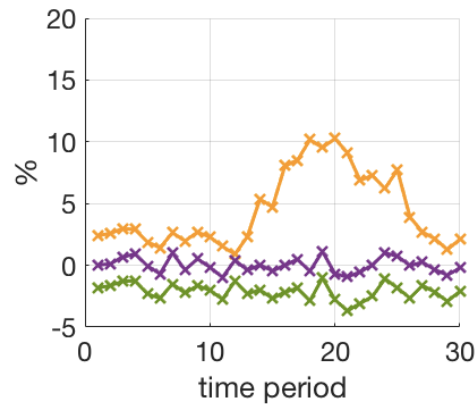


Evaluation du biais spatial

LINKS
 SD_A

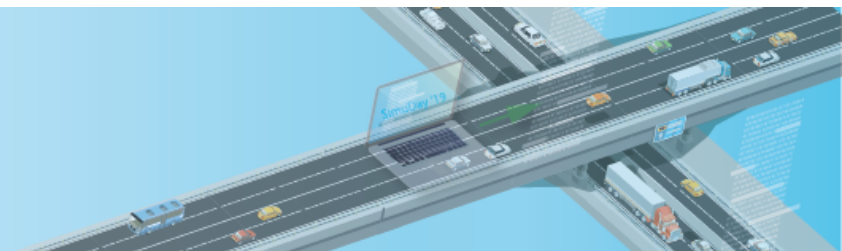


VEHICLES
 SD_B



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

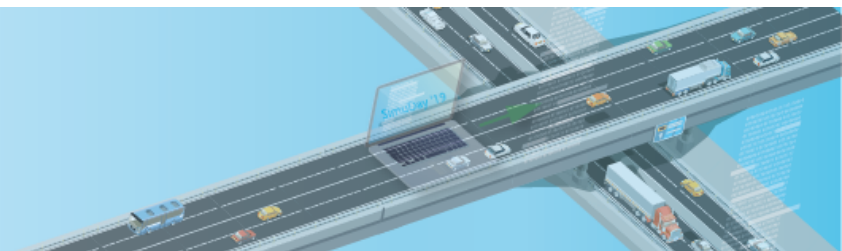


Evaluation du biais spatial

		V_t (km/h)	V_d (km/h)	$\mu_2 (V_d)$	$\mu_3 (V_d)$	$\Delta (V_t)$	$\Delta (V_d)$	$\Delta (V_d) - \Delta^*$
SD_A	FC	7.3	16.8	174.0	1445.9	17.1%	-6.2%	0.9%
	NOX					15.6%	-3.2%	0.7%
SD_B	FC	6.2	11.5	59.1	554.2	10.7%	-2.5%	-0.09%
	NOX					4.5%	-1.5%	-0.09%

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



3 – Evaluation de scénarios d'aménagement

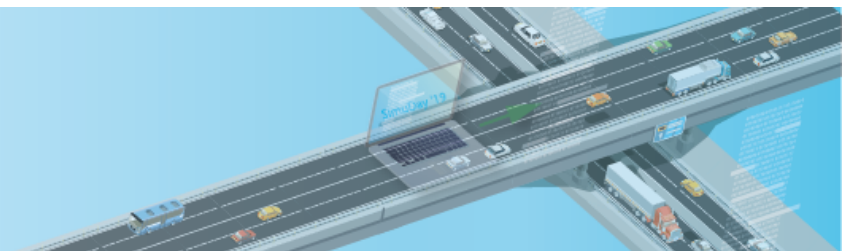
Aimsun (micro et méso) => Copert, HBEFA, Phem

Badin, A., Clavel, A., Vittoz, T., Sorand, C., Lejri, D., Leclerc, L., Olny, X., 2016. *Combining microscopic traffic modelling and 3 pollutant emission modellings to assess modifications of traffic supply and demand*. 21st International Transport and Air Pollution Conference (TAP 2016).

Stage MSP Aurore Clavel, 2016.

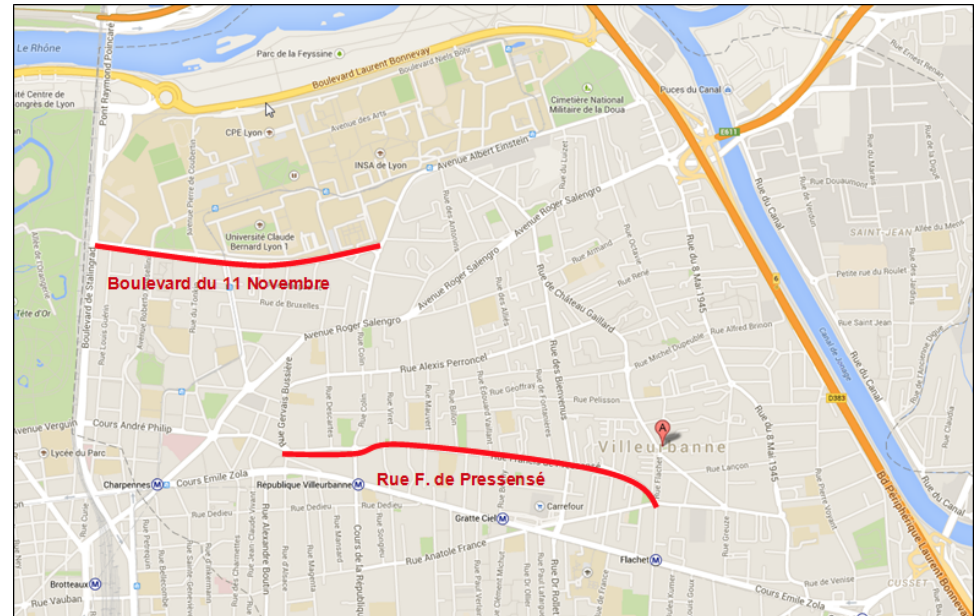
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



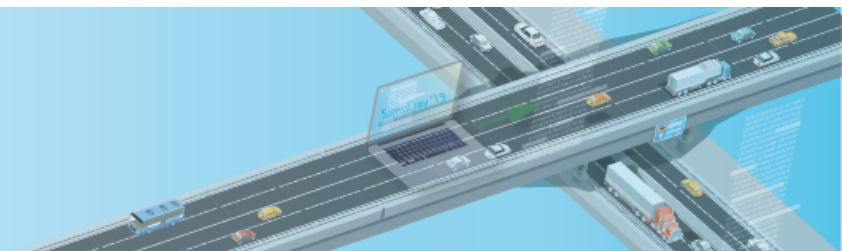
Réseau Tonkin : simulation micro

- Simulation dynamique de trafic sur le Tonkin(Aimsun)
 - Scénarios de modification de la demande (globale ou sur certaines OD structurantes)
 - Scénarios de modification de l'offre

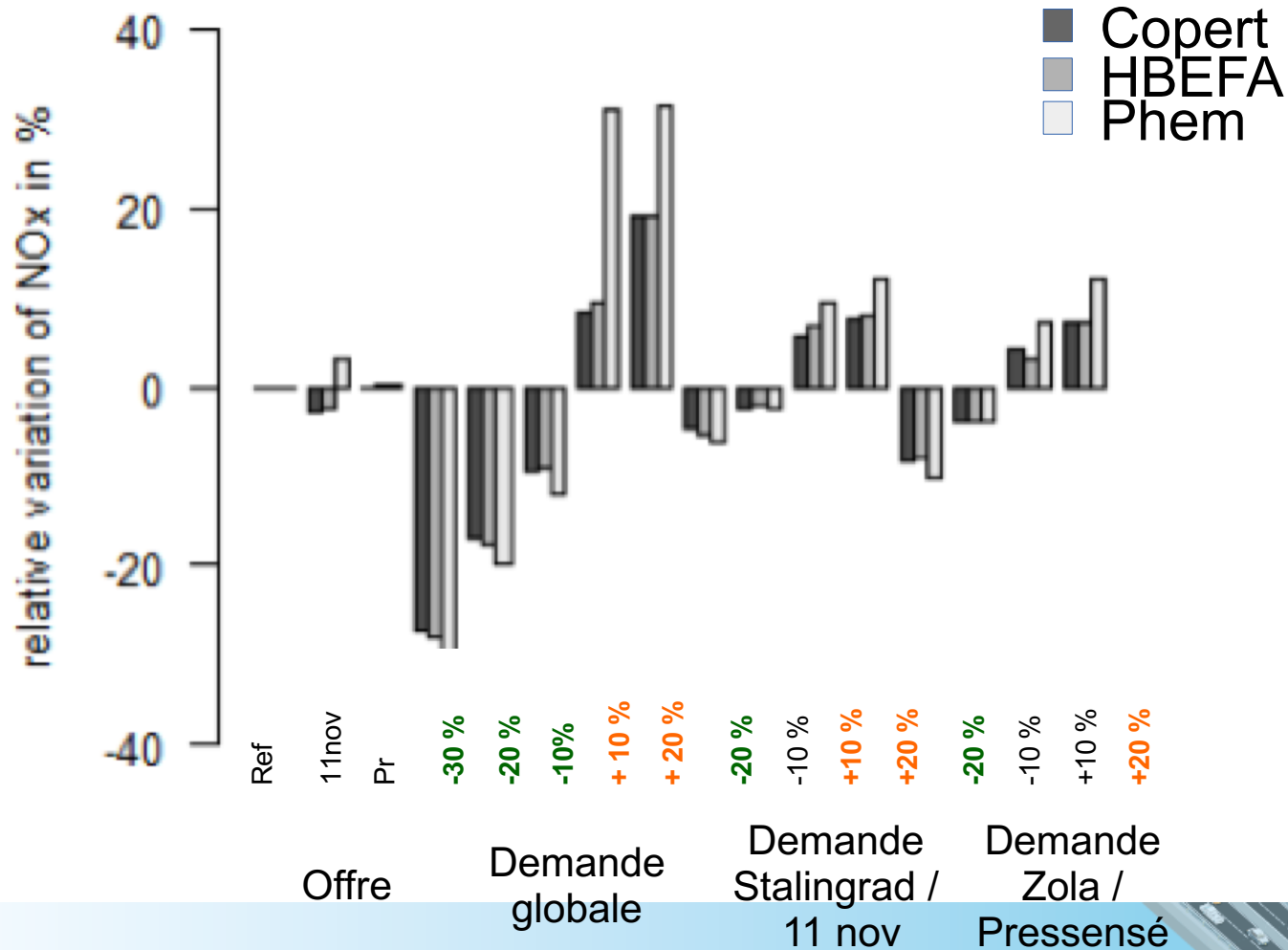


SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

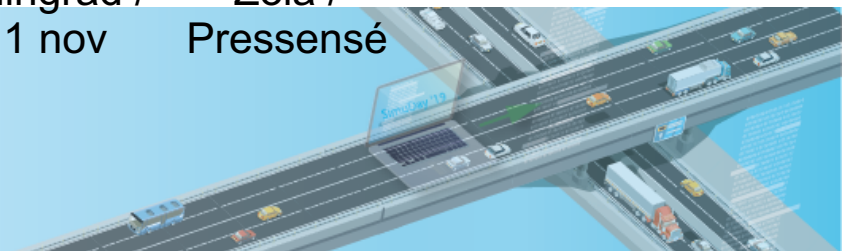


Réseau Tonkin : simulation micro



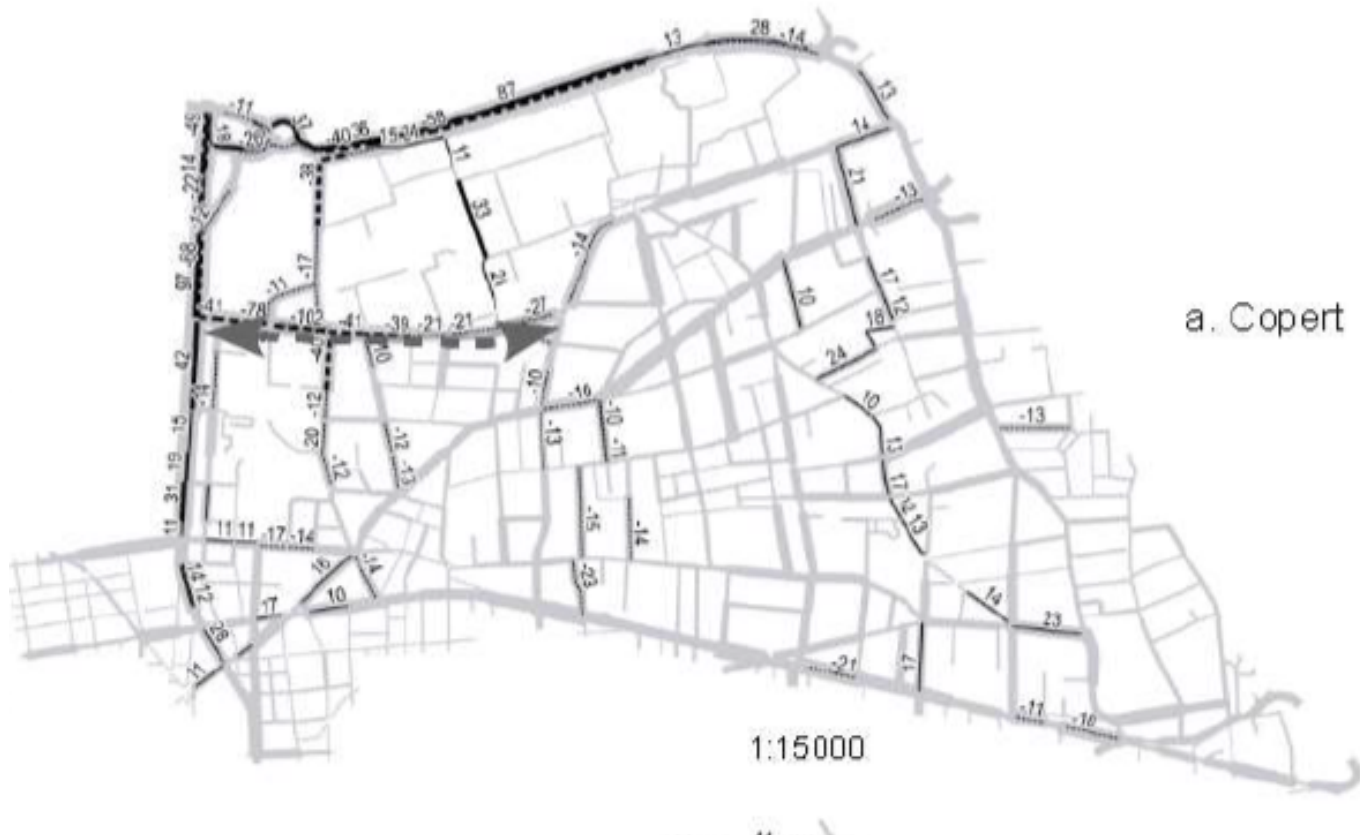
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



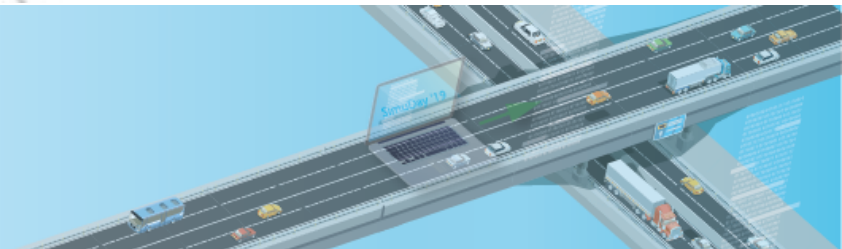
Réseau Tonkin : simulation micro

- Analyse spatiale du scénario O11nov.



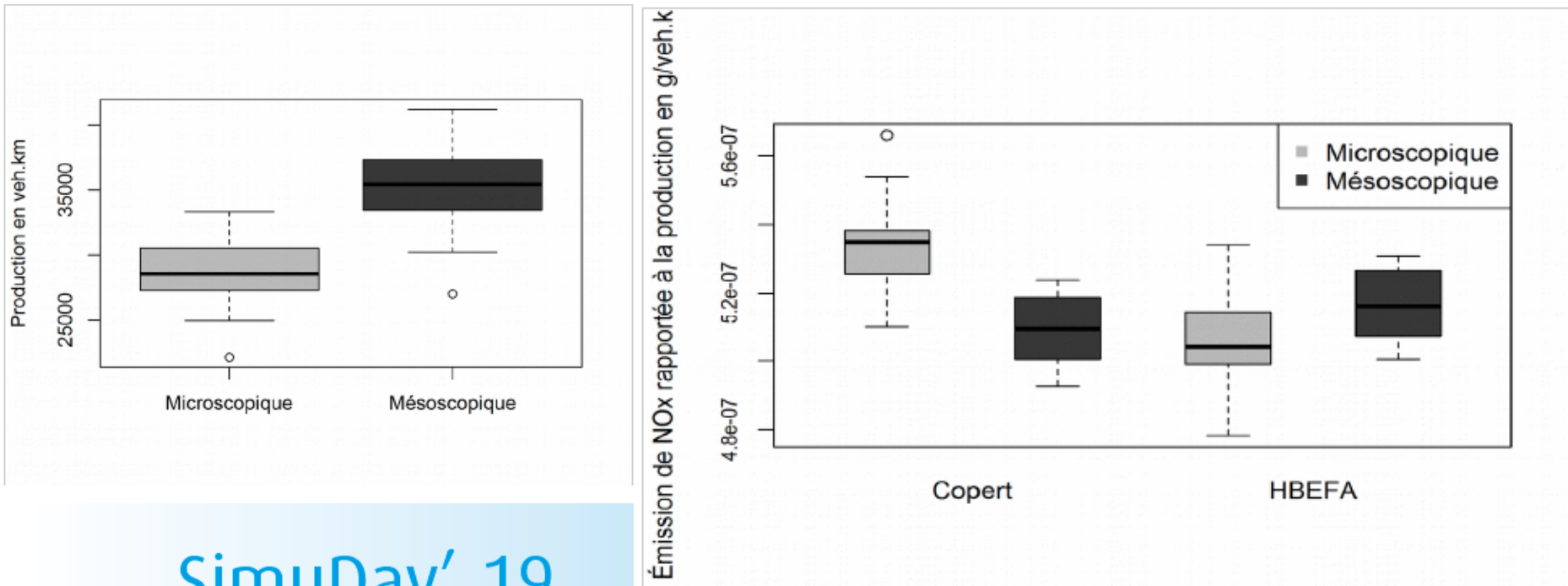
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Réseau Tonkin : simulation méso

- A partir de la simulation microscopique, mise en œuvre du plugin de trafic mésoscopique.
- Distance totale parcourue plus élevée
- Distribution des vitesses marquée par deux modes : 0-4 et 52-56 km/h => vitesse moyenne plus élevée



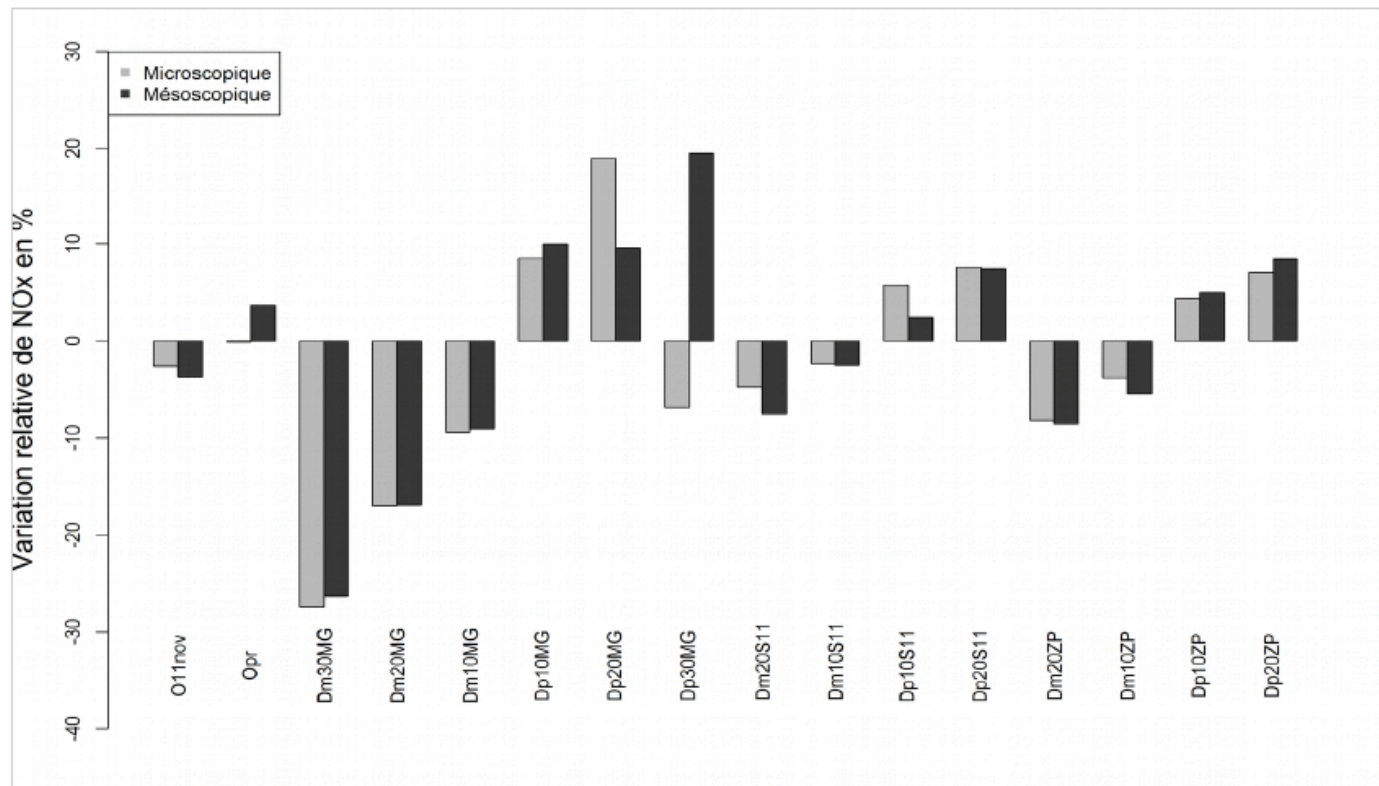
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



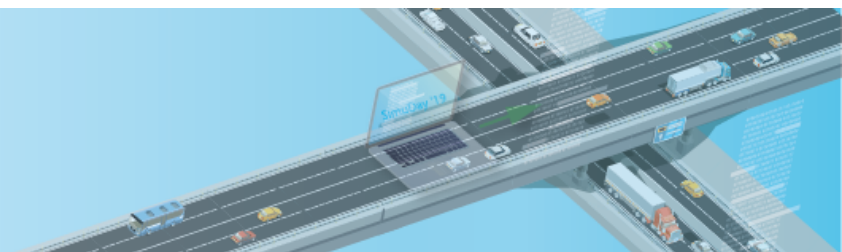
Réseau Tonkin : simulation micro-méso

- Analyse des scénarios avec Copert



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !





MAGnUM



European Research Council
Established by the European Commission



4 – Sensibilité à l'heure de départ

MFD => Copert

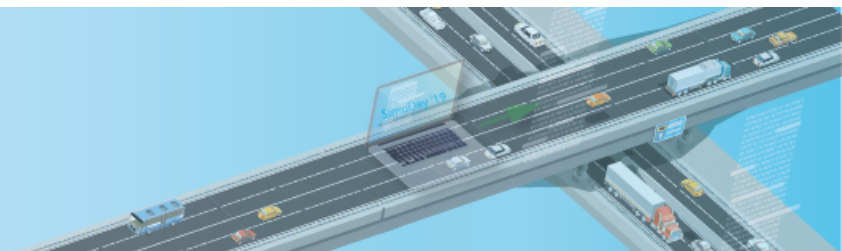
Lejri D., Meynet G., Leclercq L., 2019.

Network performance under different departure time strategies from traffic and emission perspective,

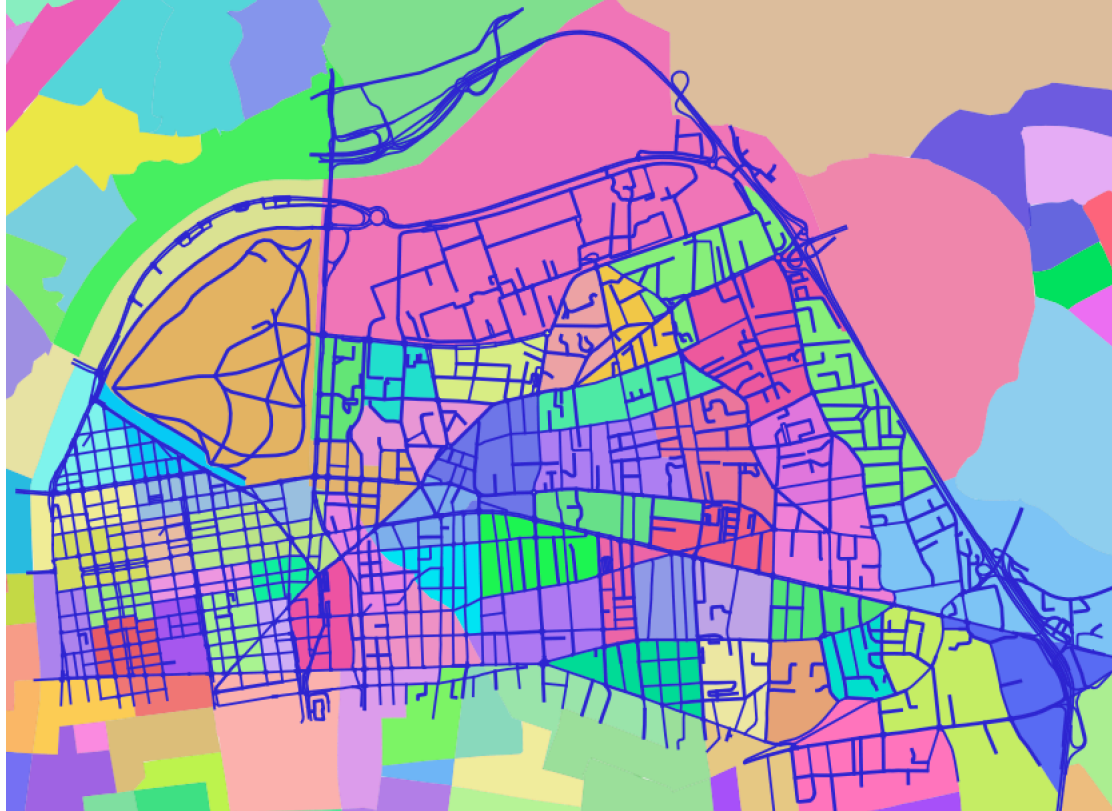
23rd International Transport and Air Pollution.

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Réseau Lyon63V

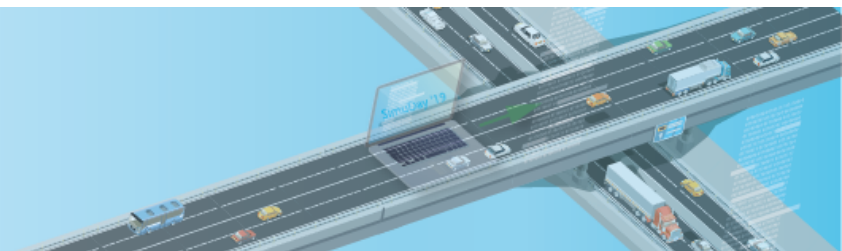


- Aire urbaine de 15km² divisée en 75 zones
- Demande réparties sur 6969 paires OD
- Heure de pointe du matin 6:30-11:00
- Modes: PC, Bus, Metro, Tram
- Affectation dynamique : équilibre usager / 30min

Simulation micro de réf.

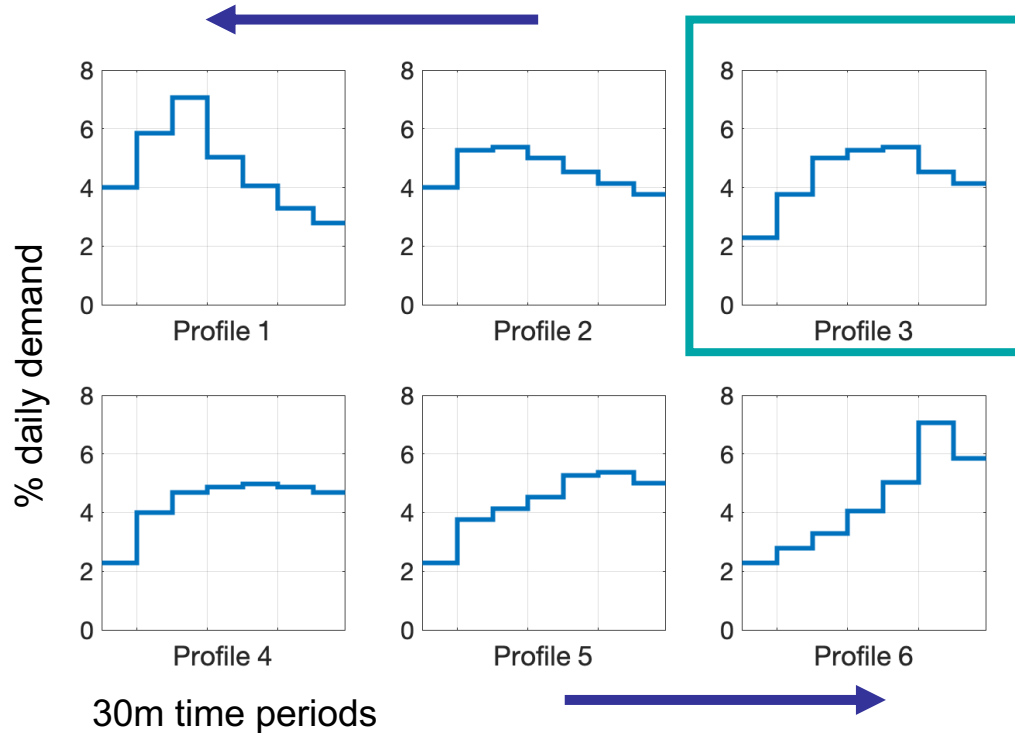
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Modifications de l'heure de départ

Scénario de réf.



- Six profils de demande exprimées en pourcentage de la demande totale de la journée pour chaque période de 30 min.

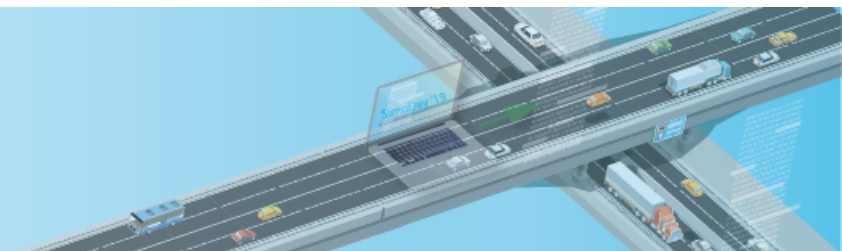
→ 6969⁶ possibilités !!!

- Partir plus tôt ou plus tard depend des heures de travail, d'école, etc.

→ Regroupement des OD basé sur les activités

SimuDay' 19

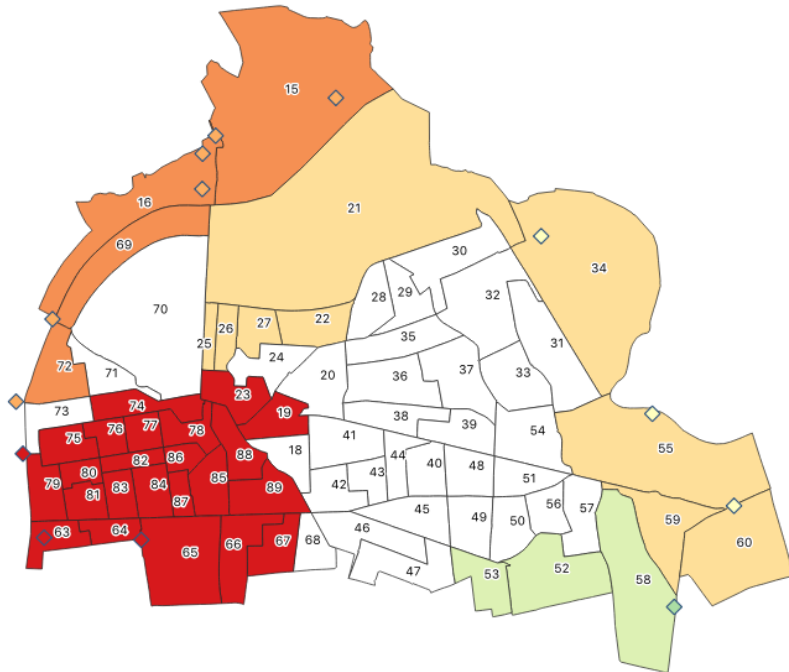
UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Modifications de l'heure de départ

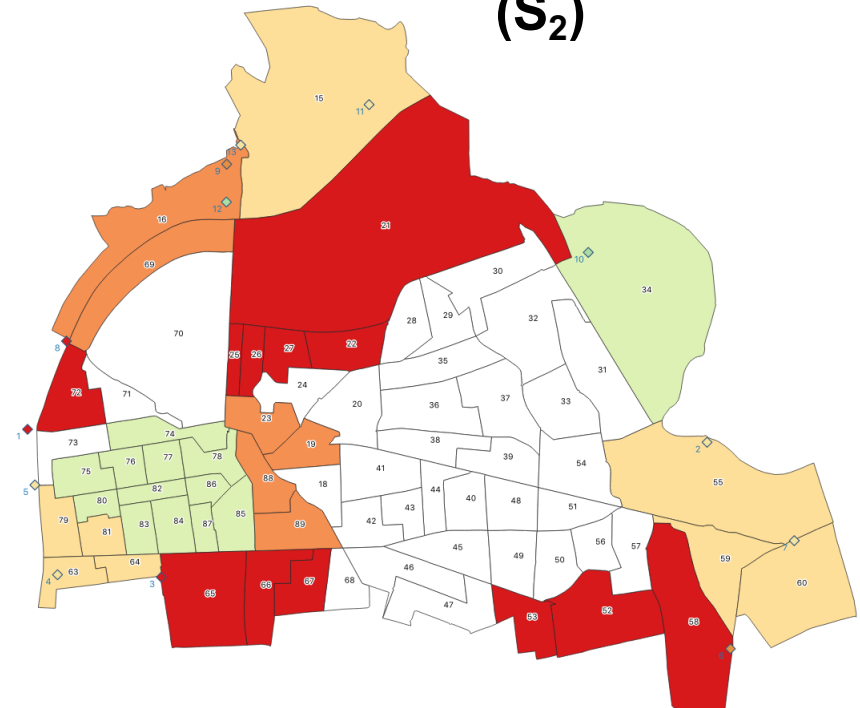
Stratégies orientées destination: agit sur les zones d'emplois

(S₁)



4 zones continues géographiquement

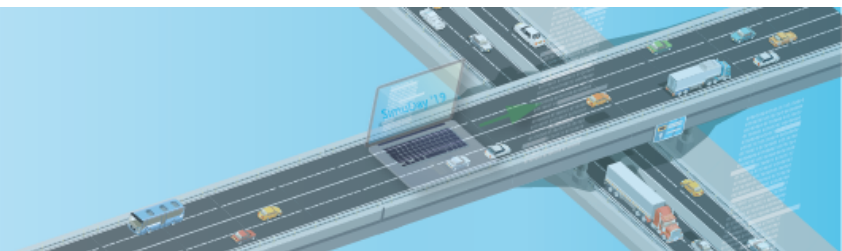
(S₂)



4 zones discontinues géographiquement

SimuDay' 19

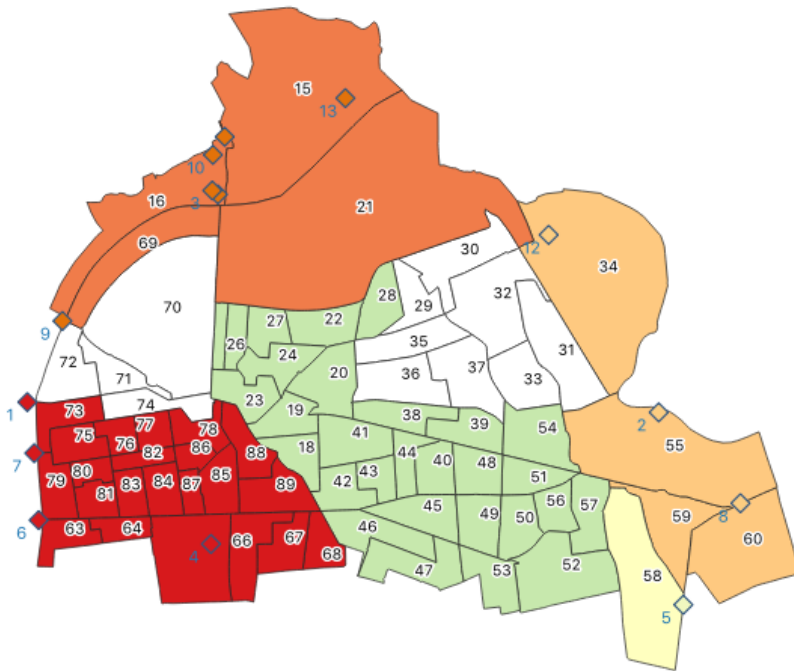
UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Modifications de l'heure de départ

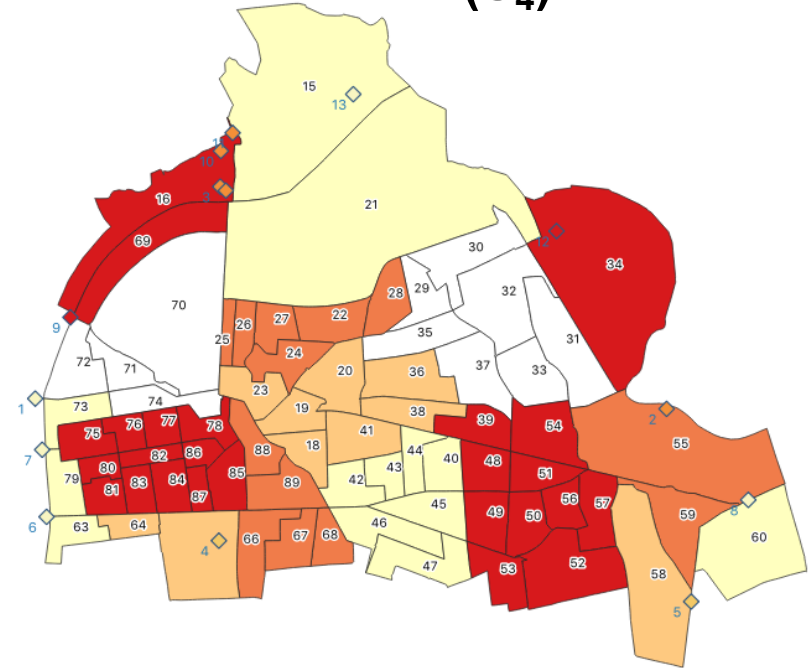
Stratégies orientées origine: agit sur les zones résidentielles

(S₃)



5 zones continues géographiquement

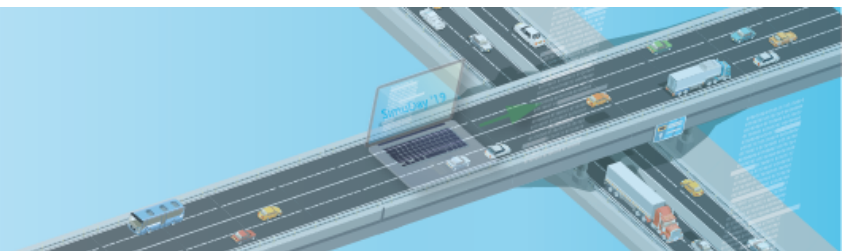
(S₄)



4 zones discontinues géographiquement

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Modifications de l'heure de départ

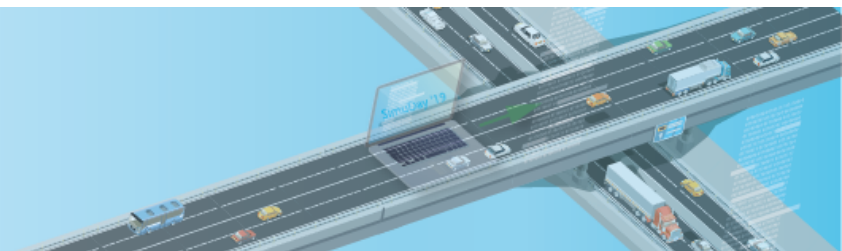
Longueur de déplacement totale (km) par groupe et stratégie

Stratégie	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
S1	79 131	107 404	90 680	125 822	-
S2	81 701	126 768	75 862	118 706	-
S3	68 658	119 978	95 270	96 060	61 647
S4	114 418	122 805	123 110	81 279	-

Ce plan d'expérience nécessite de faire tourner 11664 simulations
→ échantillon Latin hypercube 20% - **2340 simulations**

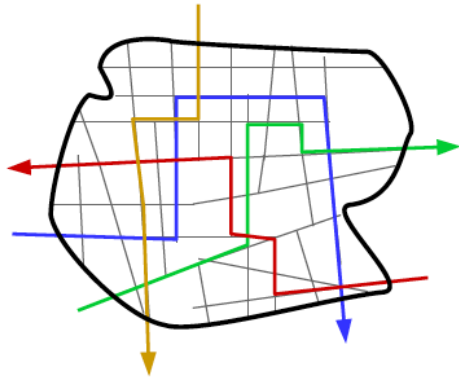
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

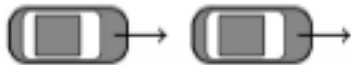


Modèle agrégé (trip-based)

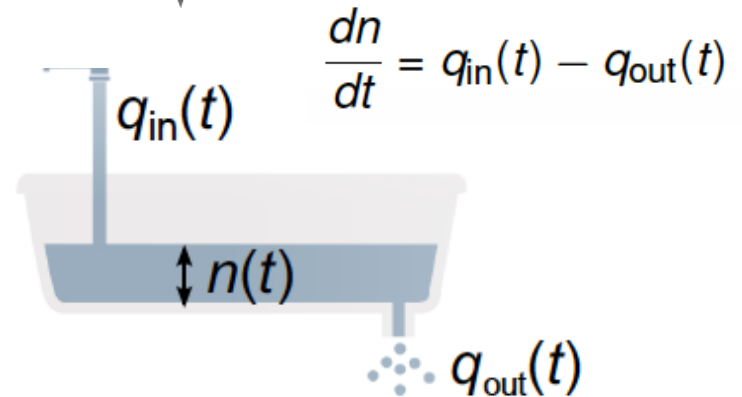
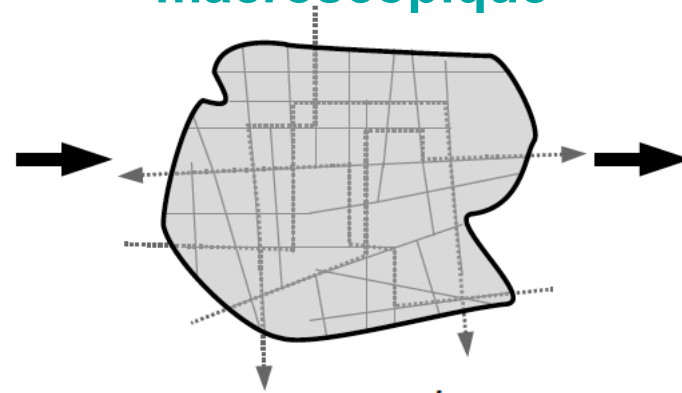
Modélisation
microscopique



Individual vehicle motion

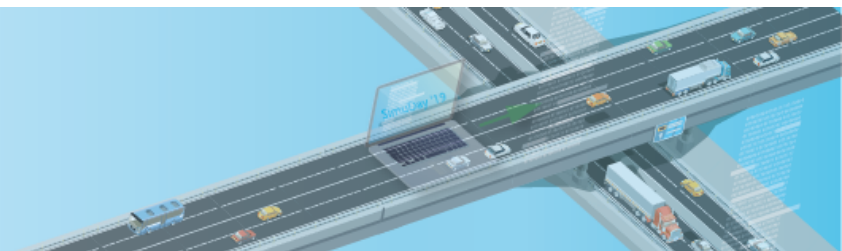


Modélisation
macroscopique



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

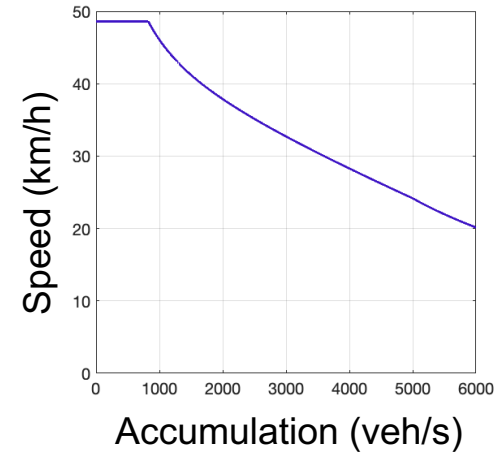
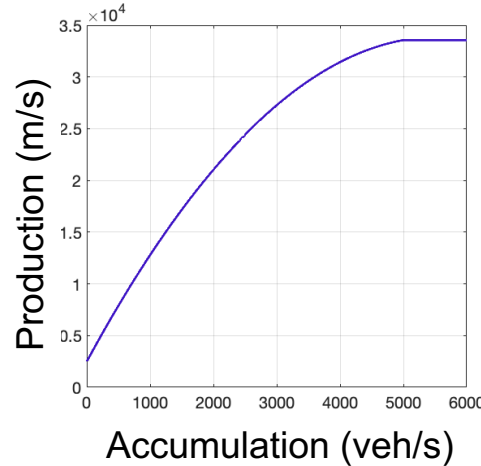


Modèle agrégé (trip-based)

**Base de données
véhicules de la réf.**

- ✓ Distance individuelles
- ✓ **Heures de départ**

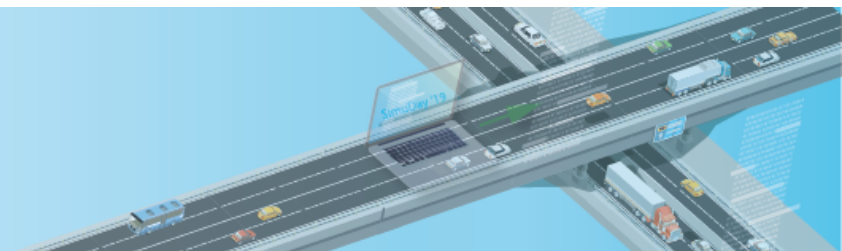
Lyon63V : calibration des courbes



- **Hypothèse #1**: les distances de parcours individuelles ne changent pas
- **Hypothèse #2**: le choix du mode ne change pas
- **Hypothèse #3**: une vitesse moyenne uniforme qui respecte la courbe MFD

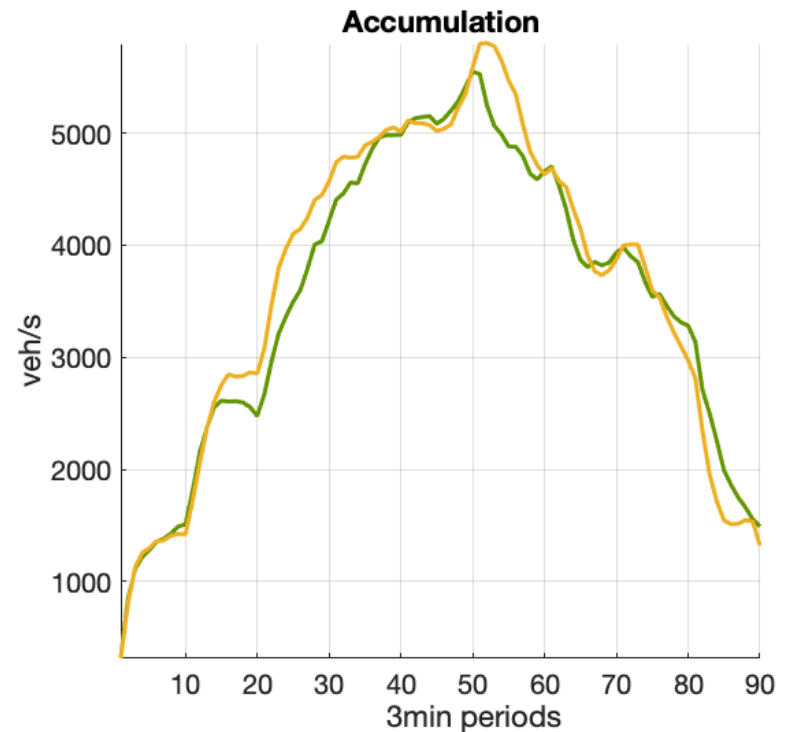
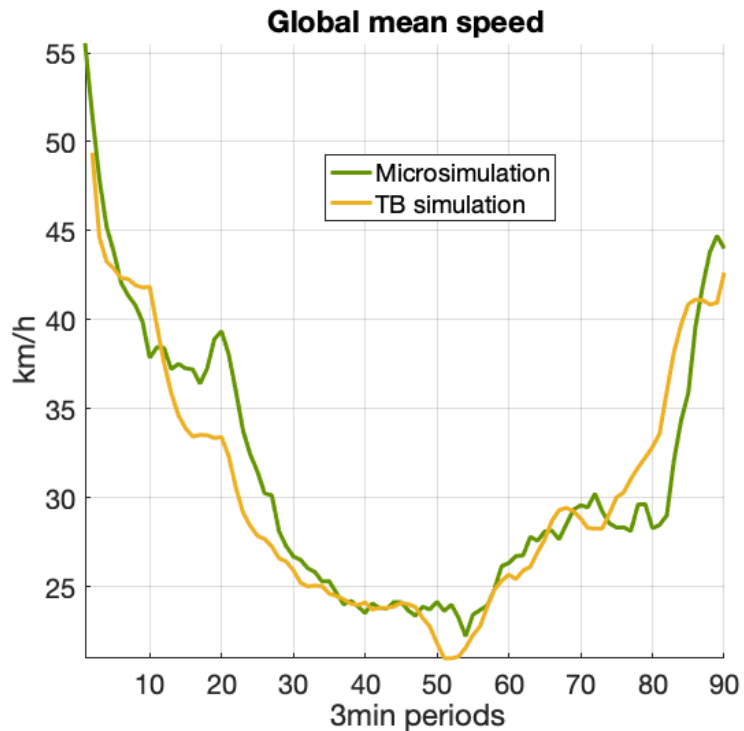
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



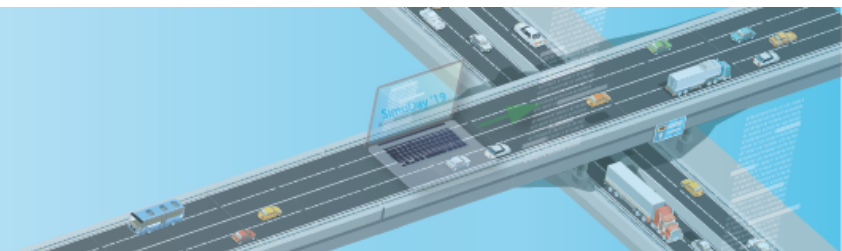
Comparaison des simulations

Evolution temporelle de la vitesse moyenne et de l'accumulation



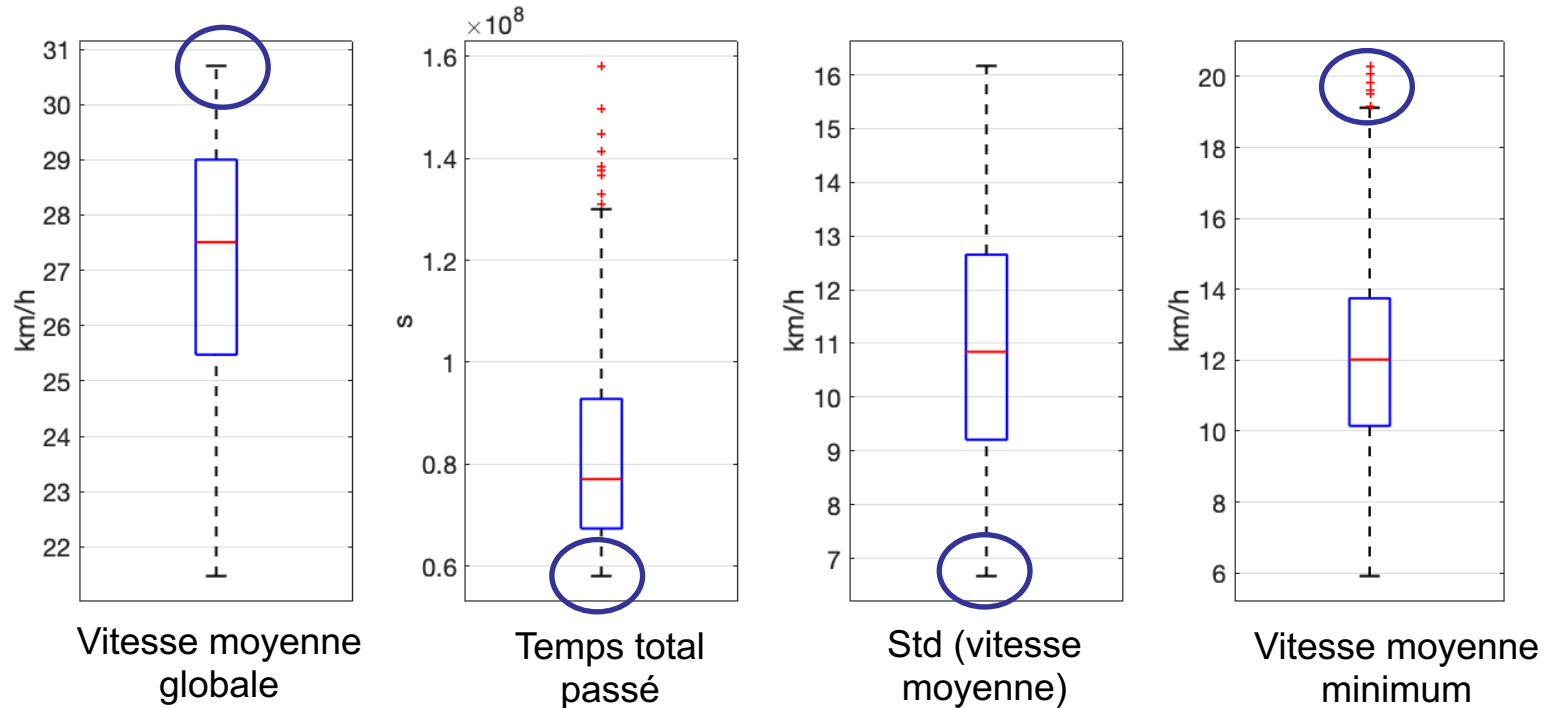
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Résultats : trafic

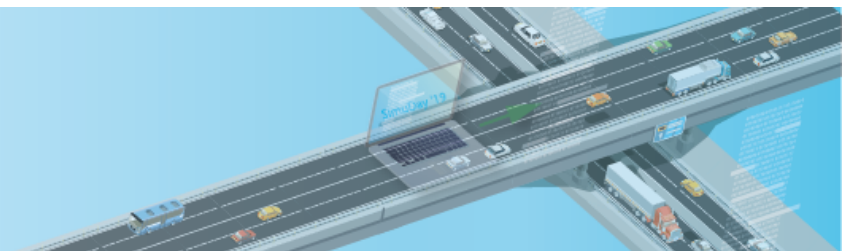
Variation des indicateurs de trafic sur les 2340 simulations



➔ Sélection d'un ensemble de solutions optimales

SimuDay' 19

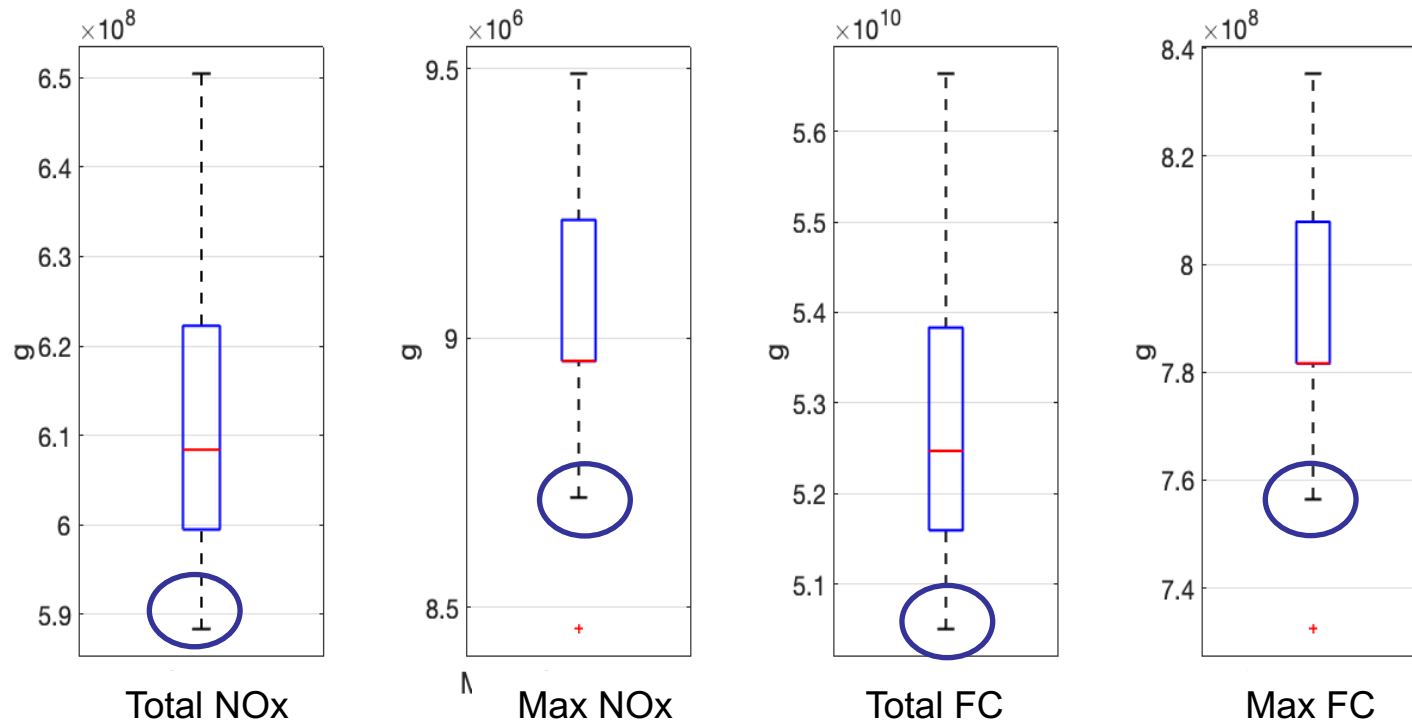
UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Résultats : émissions

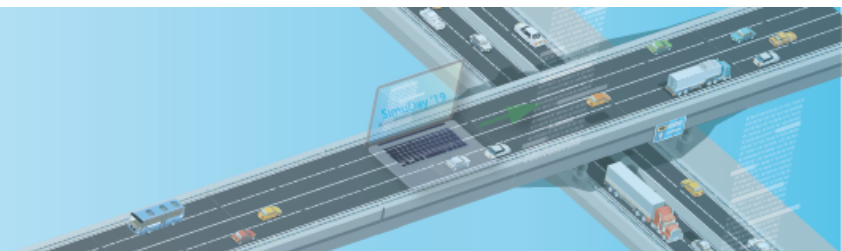
Calculs d'émission: Copert 5 – à l'échelle du réseau – par période de 3min

Variations des émissions sur les 2340 simulations



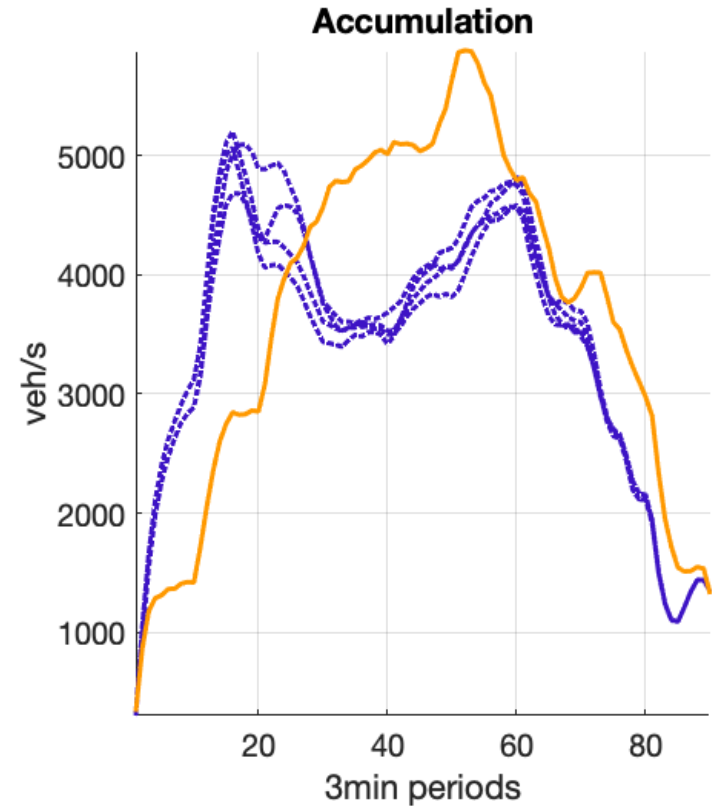
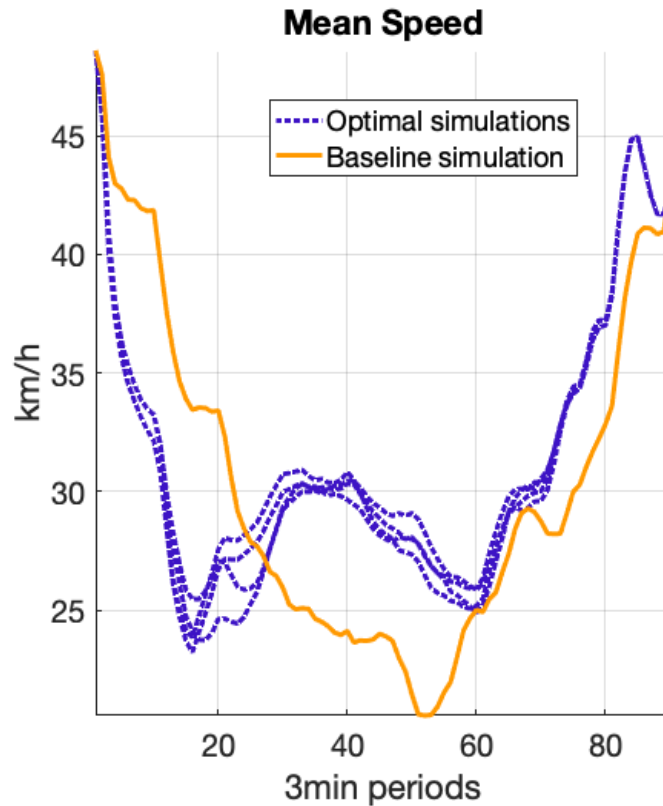
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



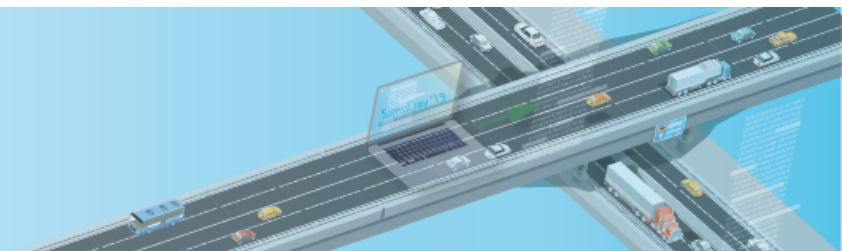
Solutions optimales

(S₃)



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Solutions optimales

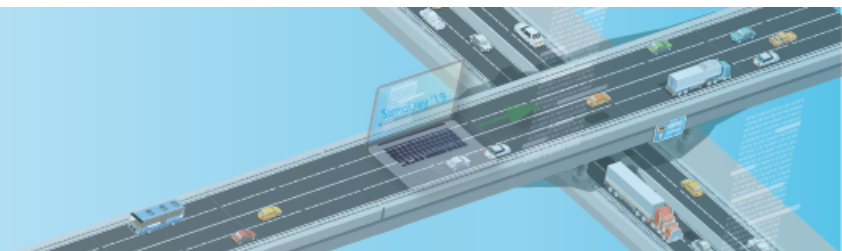
ID simulation	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5
630	6	4	6	3	1
1716	2	4	4	6	6
1850	2	6	3	3	6
1880	6	3	6	5	1

Impact sur les émissions de polluants:

- FC: réduction de -1.9% pour la conso. totale et de -3.3% pour la période la plus dommageable
- NOx : reduction de -1.7% pour les émissions totales et de -3.0% pour la période la plus dommageable

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

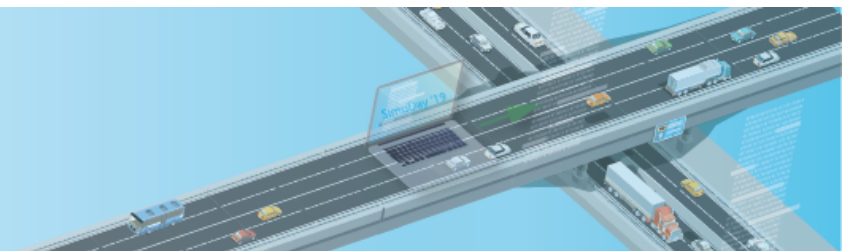


Conclusions

- **Modèle agrégé sur 1 réservoir** : pas complètement satisfaisant
⇒ grosses hypothèses : les heures de départ n'influencent pas la repartition par mode et les longueurs de déplacements
- **Etude en cours à partir de simulations microscopiques**
⇒ sous la forme d'un problème d'optimisation
- **Etude en cours sur 10 reservoirs**
⇒ comparaison avec la simulation microscopique et les émissions d'ATMO-AURA

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

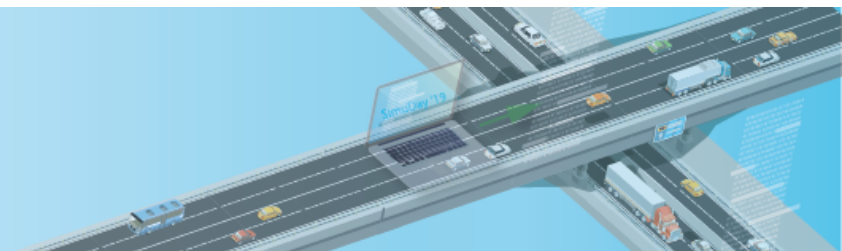


TRAPS

Référente Cerema DterCE : Anne-Laure Badin

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Outil de couplage : historique

About TRAPS...



TRAPS 1.1.3.1
Based on Qt 5.4.2

Traps a été développé par le LICIT (UMR IFSTTAR / ENTPE) dans le cadre du projet COERT-P financé par l'ADEME.

La première version comportait les fonctionnalités suivantes :

- exploitation des données de simulations microscopiques,
- exploitation des données agrégées de type capteur.

Les développements se sont ensuite poursuivis en interne au LICIT pour intégrer entre autres :

- l'exploitation des données agrégées sur des zones (capteurs MFD),
- la gestion du format de sortie CityGML,
- l'agrégation des résultats sur des grilles irrégulières ou surfaces quelconques.

Enfin, le CEREMA a financé une extension permettant entre autres :

- d'exploiter des résultats de simulation mésoscopiques,
- d'agréger les résultats au choix par type de véhicule, par segment ou par sous-segment.

- **pensé dans le cadre du projet de recherche** Cohérence des échelles de représentation du trafic et pollution (2012-2015)

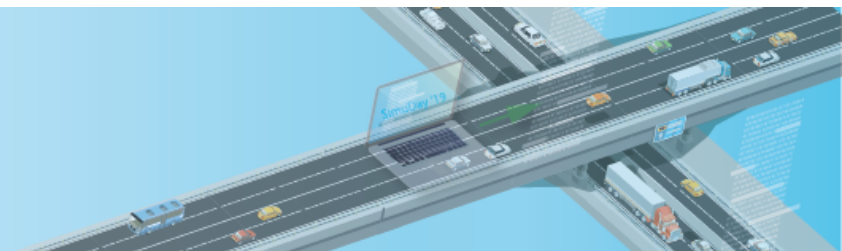
- développé par un **prestataire SI** (ITLink) sur financements de CoERT-P, du Cerema ITM et de l'ORSI Messigeo

- conçu pour **faciliter les couplages** entre modèles dynamiques de trafic et modélisation des émissions de polluants

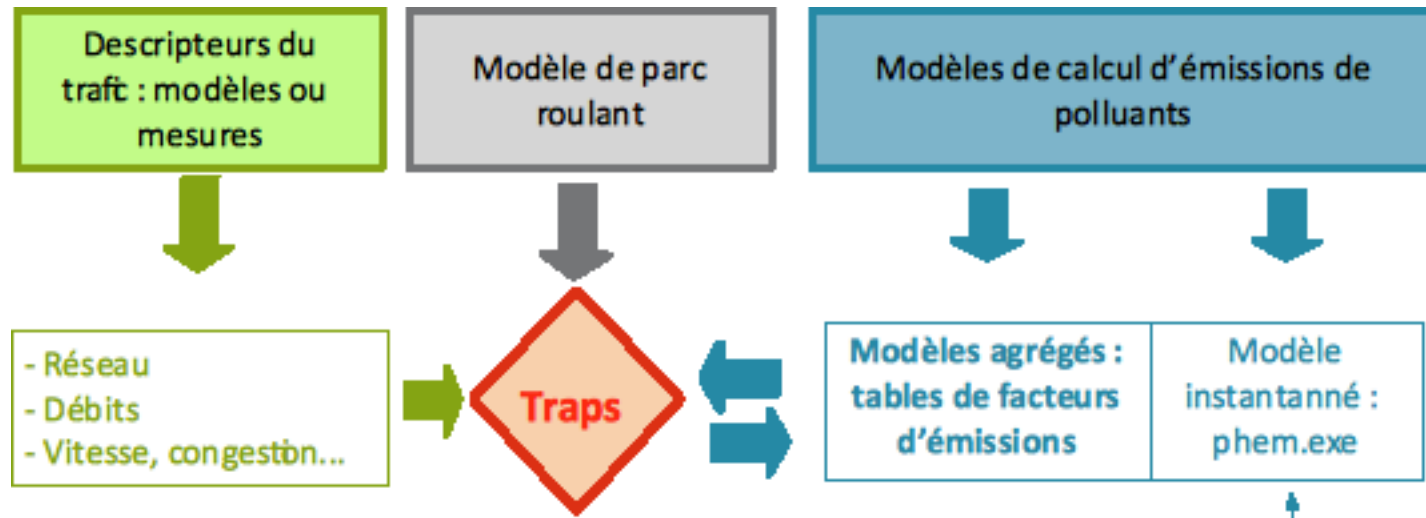
- **adapté** pour : couplages avec des modèles mésoscopiques et statiques de trafic et avec la nouvelle version de Copert

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



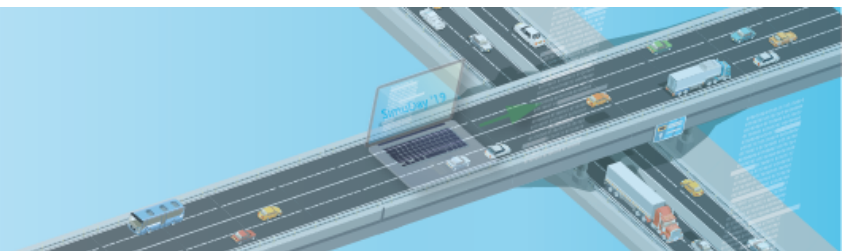
Outil de couplage : principes



Interface **ouverte sur les outils**, format “en briques” permettant d’intégrer de nouveaux formats de données, les mises à jours des modèles, etc.

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

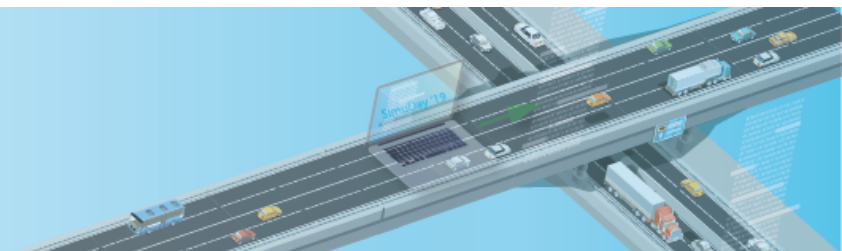


Autres axes de recherche

- **Confrontation des vitesses et des concentrations de NO₂ mesurées en bordure de périphérique lyonnais**
 - ⇒ ORSI Messigeo (collaboration avec le Cerema), stages
- **Evaluation environnementale de systèmes communicants I2V, V2V**
 - ⇒ Projets de recherche européen *Scoop*, *C-The Difference*, etc.
- **Utilisation de données de téléphonie mobile (CDR) pour la caractérisation du trafic nécessaire au calcul d'émission**
 - ⇒ Une thèse cifre avec le CITEPA - Manon Seppecher – débutée en 2018
- **Gestion de trafic à grande échelle (ZFE et autres stratégies)**

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Merci pour votre attention

delphine.lejri@entpe.fr

/// Chercheure au LICIT

Université de Lyon, ENTPE, IFSTTAR

(+33) 4 72 04 77 15

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

