

Impacts environnementaux de l'étalement logistique en Ile-de-France

Nicolas Coulombel (ENPC-LVMT)

Laetitia Dablanc (IFSTTAR-SPLOTT)

Mathieu Gardrat (ULL2-ENTPE-LAET)

Martin Koning* (IFSTTAR-SPLOTT)

Motivations :

- **Double tendance de fond** (en France et ailleurs) :
 - Concentration des populations/activités dans les zones urbaines
 - Celles-ci voient leur taille augmenter, leur morphologie évoluer
- Riche littérature sur les déterminants et les effets de ce « sprawl » (ménages, entreprises, secteurs...)
- Travaux récents sur l'**étalement logistique** :
 - Confirmé pour plusieurs agglomérations, même si la forme diffère : plus rapide que pour la population et les autres activités
 - Croyance partagée : **la hausse des distances parcourues par les VUL et les PL induirait une hausse des émissions de polluants**
 - Pas encore de preuves empiriques suffisantes

Intuition :

- Les nuisances environnementales liées à la logistique urbaine dépendent du nombre d'opérateurs (N), de leur volume d'activités (n), de la distance moyenne parcourue par trajet (d) et des performances des véhicules (e) :

$$EL_t^j = N_t^{LO} \times \sum_k n_t^k \times d_t^k \times e_t^{jk}$$

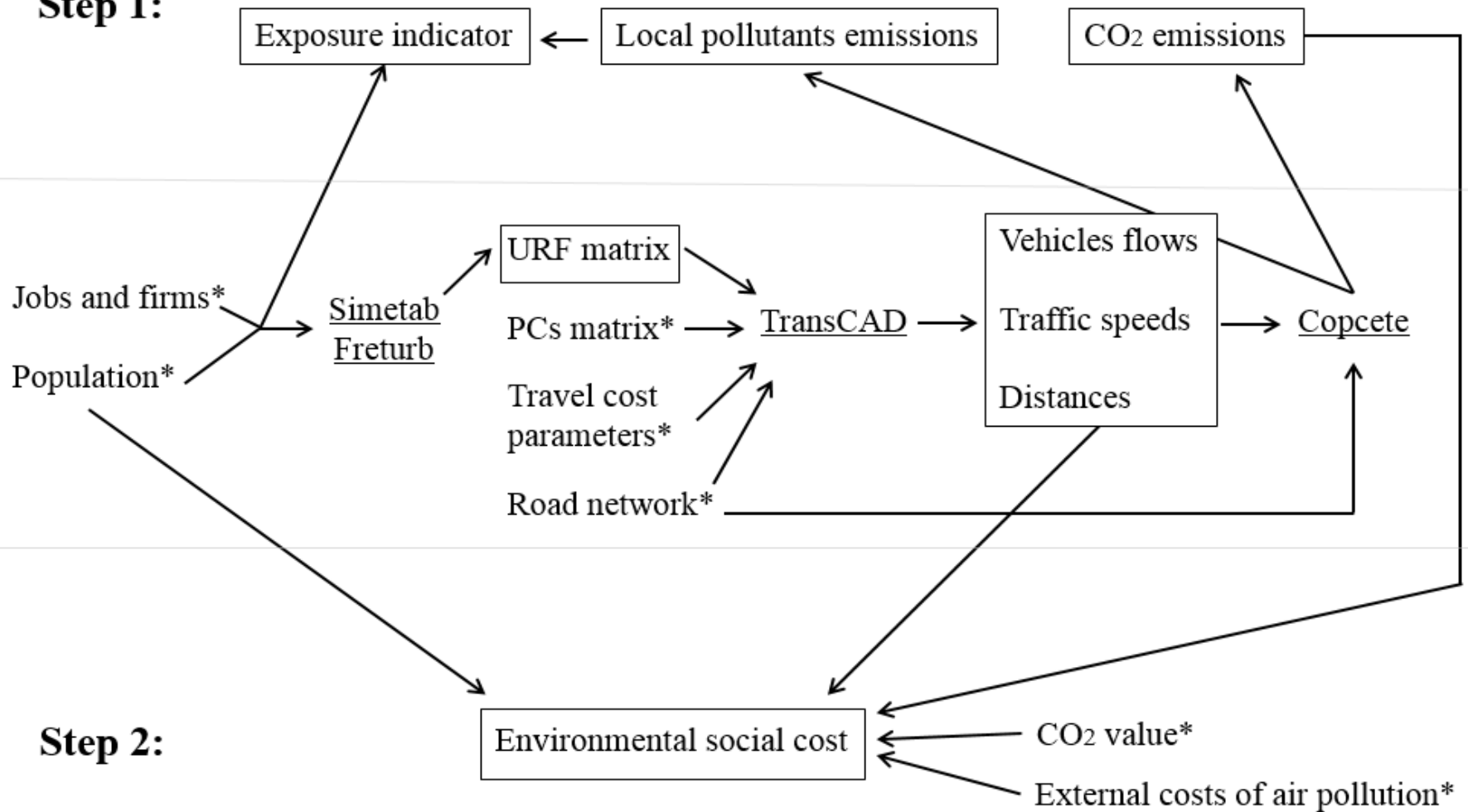
- **Dans une perspective diachronique, ces paramètres ne peuvent être considérés comme étant constants :**
 - L'étalement logistique n'implique pas nécessairement avec une hausse des distances moyennes
 - On constate de forts progrès technologiques des moteurs
 - Il existe une dispersion spatiale des impacts

Dans ce travail (en cours) :

- **On combine 3 outils de modélisation pour estimer les émissions de polluants (CO₂, PM₁₀) liées à la logistique urbaine en Ile-de-France, pour les années 2006 et 2015**
- On distingue les émissions des VP, des VUL et des PL
- On distingue au sein du transport de fret les mouvements de véhicules liés au secteur logistique des autres mouvements
- On évite d'utiliser des facteurs d'émissions moyens, afin de prendre en compte les fortes non-linéarités existantes avec la vitesse
- On spatialise les résultats, en différenciant l'IDF selon la densité d'individus potentiellement impactés
- Remarque : **méthode validée dans Coulombel et al. (2018)**

Architecture :

Step 1:



La région Ile-de-France :

	IdF		Paris city		Inner-suburbs		Outer-suburbs	
Municipalities	1,300		20		123		1,157	
Area (km²)	12,058		105		657		11,297	
Dist. to Paris (km)	41.0		3.0		11.4		44.7	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
Pop. (1,000)	11,532	12,092	2,181	2,206	4,326	4,567	5,025	5,319
Pop. density	1,659	1,730	23,209	23,181	8,012	8,438	612	646
Firms (1,000)	789.5	1,095.5	330.9	440.0	227.1	326.0	231.5	329.2
Jobs (1,000)	5,546	6,357.3	1,850.3	2,065.5	1,943.8	2,271.0	1,751.8	2,020.8
Jobs density	926.7	1,059.2	26,944.8	30,143.0	3,522.0	4,118.8	201.1	231.2

- Structure globalement mono-centrique (emplois > population)
- **Croissance des emplois et de la population supérieure « hors » de la Ville de Paris** (Petite et Grande Couronnes)
- Effets considérables de la réforme du statut d'auto-entrepreneur (2008) sur le nombre d'établissements économiques

Les activités logistiques :

- **Secteurs « transport et entreposage » et « commerce de gros »**
- Non-logistique : commerce de détails, services (aux ménages et aux entreprises), industries, agriculture
- Hausse modérée du nombre d'entreprises logistiques
- **Baisse des emplois logistiques dans Paris, en hausse ailleurs**
- Double évolution : rationalisation et gains de productivité dans les gros établissements vs. développement d'un artisanat logistique

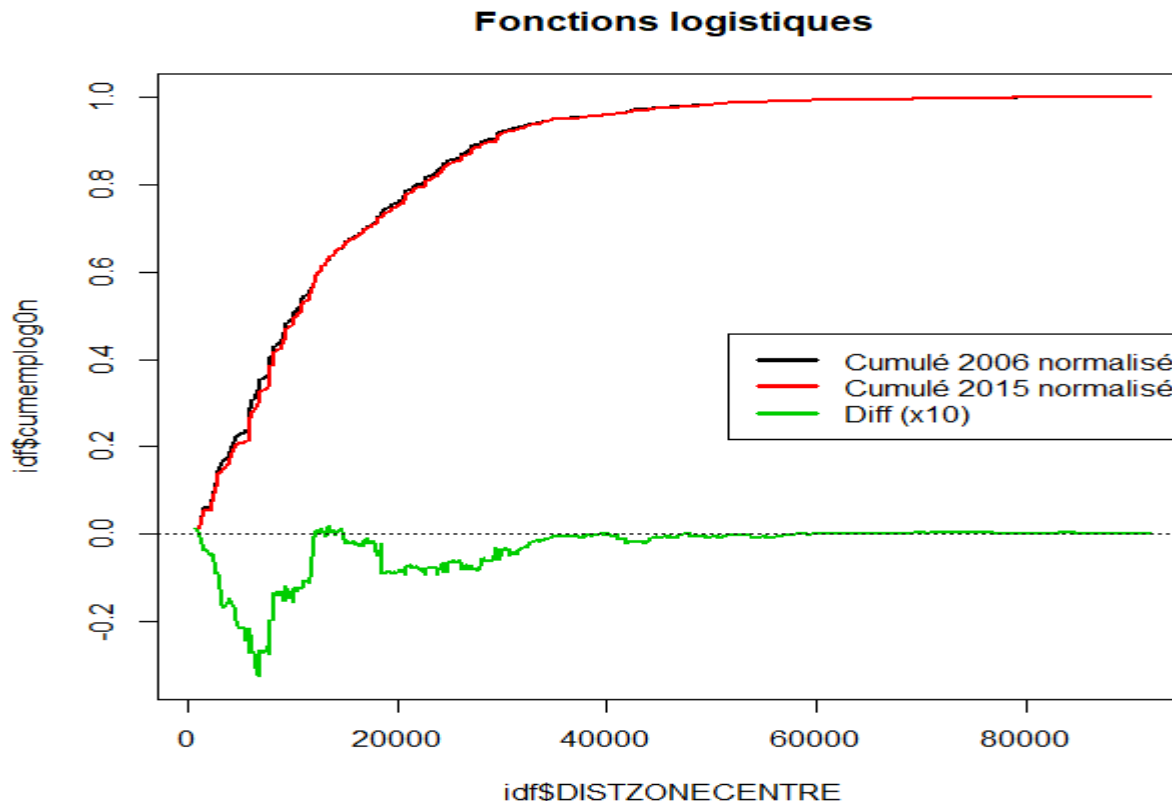
	IdF		Paris city		Inner-suburbs		Outer-suburbs	
	<i>2006</i>	<i>2015</i>	<i>2006</i>	<i>2015</i>	<i>2006</i>	<i>2015</i>	<i>2006</i>	<i>2015</i>
Log. firms (1,000)	53.2	56.8	23.3	23.9	16.6	18.3	13.2	14.7
Log. jobs (1,000)	365.8	362.9	90.7	82.9	152.6	156.0	122.5	124.1
Log. firms size	6.5	5.6	4.1	3.5	8.0	7.1	6.3	5.5
Other firms (1,000)	736.3	1,038.7	307.5	416.4	210.5	307.7	218.2	314.6
Other jobs (1,000)	5,180.1	5,994.4	1,759.7	1,982.6	1,791.2	2,115.0	1,629.2	1,896.8
Other firms size	5.3	4.5	5.9	5.0	7.9	6.4	5.0	4.2

L'étalement logistique :

- Distances à Notre-Dame :

	2006	2015	Δ (km)	Δ (%)
Households	17.27	17.46	+0.19	+1.1%
Logistics jobs	13.72	14.01	+0.29	+2.1%
Other jobs	13.42	13.40	-0.02	-0.1%

- Baisse des emplois surtout à proximité de Paris :



Les opérations logistiques (Freturb) :

- Elles correspondent (à peu près) au compte d'autrui et au compte propre expéditeur, (à peu près) aux tournées
- Une entreprise logistique génère beaucoup plus de mouvements de marchandises (24 opérations/semaine) que les autres firmes
- **Coefficients de génération des firmes logistiques en hausse**

	IdF		Paris city		Inner-suburbs		Outer-suburbs	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
<i>Generation coefficients (movements/week/firm) :</i>								
All firms	6.4	5.6	5.1	4.6	7.4	6.3	7.0	6.1
Logistics firms	23.2	24.1	14.3	14.4	29.3	29.7	31.3	32.8
Other firms	4.9	4.4	4.3	3.9	5.4	4.6	5.3	4.7
<i>Goods' movements (1,000/week):</i>								
All firms	4,322	5,084	1,404	1,600	1,471	1,730	1,447	1,754
Logistics firms	1,235	1,370	334	344	488	544	414	481
Other firms	3,088	3,714	1,070	1,256	983	1,186	1,033	1,272
<i>Organizational features of the transport operations:</i>								
DT (%)	28.4	28.0	27.1	26.7	28.5	28.3	29.6	28.7
TPO (%)	41.7	39.4	40.7	39.3	42.5	39.9	41.9	39.2

Modèle de trafic (TransCAD) :

- Durant une heure de pointe du matin :

	IdF		Paris city		Inner-suburbs		Outer-suburbs	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
<i>Morning peak periods:</i>								
Flow of PCs (/h)	717	743	1,066	1,104	824	852	593	615
Flow of LGVs (/h)	76	88	228	257	90	106	39	45
Flow of HGVs (/h)	64	63	160	161	81	79	37	35
Logistics LGVs (%)	26%	24%	26%	24%	22%	21%	28%	25%
Logistics HGVs (%)	45%	44%	43%	42%	43%	41%	47%	45%
Vehicle speed (km/h)	39	38	17	16	29	27	49	48

	IdF		Paris city		Inner-suburbs		Outer-suburbs	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
Vkm by PCs (M/h)	11.79	12.25	1.07	1.11	2.93	3.04	7.78	8.10
Vkm by LGVs (1,000/h)	1,014	1,171	232	262	336	399	446	510
Vkm by HGVs (1,000/h)	903	860	165	166	308	295	430	400
Vkm by logist. LGVs (1,000/h)	221	244	61	64	62	70	99	109
Vkm by logist. HGVs (1,000/h)	418	397	80	78	139	133	199	185

- Véhicules logistiques : **hausse des VUL et baisse des PL (flux et vkm)**
- Dans l'ensemble, **stabilité des vkm logistiques (+0.1%) car baisse des distances moyennes/véhicule (11.6km vs. 10.9km)**

Parcs roulants :

- On utilise le parc « urbain » de Copcete :

	PC		LGV		HGV	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015
Pre-Euro	10.3%	0.8%	12.2%	0.6%	4.6%	0.1%
Euro 1	14.6%	2.1%	10.3%	1.7%	7.6%	0.3%
Euro 2	24.4%	5.5%	18.0%	4.2%	30.8%	2.4%
Euro 3	42.7%	17.8%	47.8%	15.4%	57.0%	14.3%
Euro 4	7.8%	30.4%	11.7%	29.7%	0.0%	21.8%
Euro 5	0.0%	39.8%	0.0%	45.1%	0.0%	56.7%
Euro 6	0.0%	2.3%	0.0%	3.1%	0.0%	4.4%
Diesel	57.3%	72.3%	97.9%	99.2%	100.0%	100.0%
Other energies	0.2%	1.3%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%

- Progression générale de la motorisation diesel
- **Les véhicules de fret (VUL et PL) sont plus « propres »**

Emissions de CO2 (Copcete) :

- Durant une heure de pointe du matin :

	IdF		Paris city		Inner-suburbs		Outer-suburbs	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
CO2 by PCs (t/h)	2,263	2,335	292	295	631	647	1,340	1,393
CO2 by LGVs (t/h)	281	324	80	91	91	109	111	124
CO2 by HGVs (t/h)	770	736	201	202	276	268	293	267
CO2 by logist. LGVs (t/h)	63	69	21	23	17	20	24	27
CO2 by logist. HGVs (t/h)	362	344	98	96	127	123	137	125

- Les émissions totales passent de 3314 t/h à 3395 t/h
- La part liée au transport de fret est de 31% en 2015
- Par contre, **les émissions de CO2 du secteur logistique passent de 425 t/h à 413 t/h (en raison du recul des vkm PL)**
- Les PL comptent pour 81% des émissions totales de CO2 des activités logistiques en 2015 (et 62% des vkm)

Emissions de PM10 (Copcete) :

- Durant une heure de pointe du matin :

	IdF		Paris city		Inner-suburbs		Outer-suburbs	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
PM by PCs (kg/h)	428	232	48	26	110	61	270	145
PM by LGVs (kg/h)	112	41	29	11	34	13	49	17
PM by HGVs (kg/h)	189	62	54	18	68	22	67	21
PM by logist. LGVs (kg/h)	25	9	8	3	6	2	11	4
PM by logist. HGVs (kg/h)	89	29	27	9	31	10	31	10

- Les émissions totales passent de 729 kg/h à 334 kg/h
- La part liée au transport de fret est de 25% en 2015
- **Les émissions de PM10 liées au secteur logistique passent de 114 kg/h à 38 kg/h (baisse des vkm PL surtout)**
- Près de 32% des émissions de PM du transport logistique sont concentrées dans Paris en 2015 (pour 22% des vkm)

Intensité des émissions :

- Pour un véhicule donné, on normalise la part des polluants émis dans une zone par la portion des vkm qu'il conduit dans cette zone (= 1 en moyenne régionale) :

	Paris city		Inner-suburbs		Outer-suburbs	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015
Indicator for PCs	1.418	1.394	1.120	1.116	0.897	0.902
Indicator for LGVs	1.239	1.255	0.977	0.987	0.893	0.879
Indicator for HGVs	1.431	1.424	1.051	1.061	0.798	0.779
Indicator for logist. LGVs	1.226	1.242	0.990	1.000	0.867	0.858
Indicator for logist. HGVs	1.427	1.420	1.049	1.062	0.795	0.778

- **Les émissions sont plus « intenses » dans les zones denses, car vitesses plus faibles**
- Concernant les véhicules logistiques, l'indicateur augmente en PC pour les VUL et les PL (baisse dans Paris pour les PL)

Pour résumer :

- Hausse du nombre d'entreprises et des emplois du secteur logistique entre 2006 et 2015, surtout en Petite et Grande Couronnes
- Eloignement supérieur de ces emplois au centre de l'agglomération, comparativement aux ménages et aux autres activités économiques
- Croissance du volume des déplacements liés au secteur logistique, surtout en VUL et pour les liaisons internes à la Grande Couronne
- Mais stabilité des distances parcourues par les véhicules du secteur logistique, la portée moyenne des déplacements étant en baisse
- Au niveau environnemental, l'étalement logistique n'est pas associé à une hausse des émissions, bien au contraire
- Légère baisse des émissions de CO2 et très fort recul pour les PM10 (même constat pour les VP et le reste du transport de fret)
- Les progrès des moteurs qui émettent moins de polluants locaux en 2015 expliquent en grande partie ces résultats
- Au niveau spatial, la Ville de Paris représente une part des émissions plus que proportionnelle aux vkm (car « sur-émissions » à vitesses faibles)

Enrichissements à venir :

- Sur les inputs :
 - **Données DARES sur les emplois intérimaires ?**
 - **Ajuster la matrice VP pour Paris et utiliser un réseau routier évolutif**
 - Faire varier les paramètres de coûts entre les dates
 - Prendre en compte les flux B2C
 - Intégrer la structure du parc roulant francilien ...
- Sur les outputs :
 - **Considérer l'ensemble d'une journée et d'autres polluants**
 - Intégrer les nuisances sonores
 - Utiliser les valeurs tutélaires pour estimer les pertes sociales
 - **Identifier les différentes forces derrière ces évolutions : Quid si parc inchangé ? Quid si localisations inchangées ?...**
 - Scénarios de politiques publiques

Merci d'avance pour vos commentaires :

martin.koning@ifsttar.fr

Matrices OD pour le fret :

- Nous utilisons le **logiciel FRETURB** (développé par le LAET)
- Le volume de mouvements de marchandises dans la zone z (M_z) dépend du **nombre d'établissements du secteur a , de leur taille p et de leurs locaux o**
- La combinaison de ces caractéristiques définit un type d'établissements ε ayant ses propres **attributs logistiques** (véhicule = k , gestion = m et trajets = r) :

$$M_z = \sum_{\varepsilon \in Z} n_{\varepsilon}(a, p, o) = \sum_{\varepsilon, k, m, r} M_{\varepsilon, z} \times f_{k, m, r}(\varepsilon)$$

- FRETURB calcule ensuite les distances parcourues dans chaque zone et distribue les mouvements de marchandises entre les zones selon une logique euclidienne
- Lorsque le **fichier SIRENE** (avec des informations sur a , p et o) n'est pas disponible, possibilité d'utiliser le **logiciel SIMETAB**

Affectation multi-classe :

- **Principe de Wardrop** : pour une OD donnée, il n'existe pas de « chemin » présentant un coût généralisé inférieur
- **La congestion est modélisée à l'aide d'une fonction BPR** et des coefficients d'équivalence VUL/PL/VP (PCE) :

$$tt = tt_f \times \left(1 + \alpha \times \left(\frac{F}{K} \right)^\beta \right)$$

$$F = \sum_k PCE_k \times F_k$$

- Chaque classe d'utilisateurs ($k = VP, VUL, PL$) empruntant le chemin p est caractérisée par sa propre valeur du temps et ses propres dépenses monétaires :

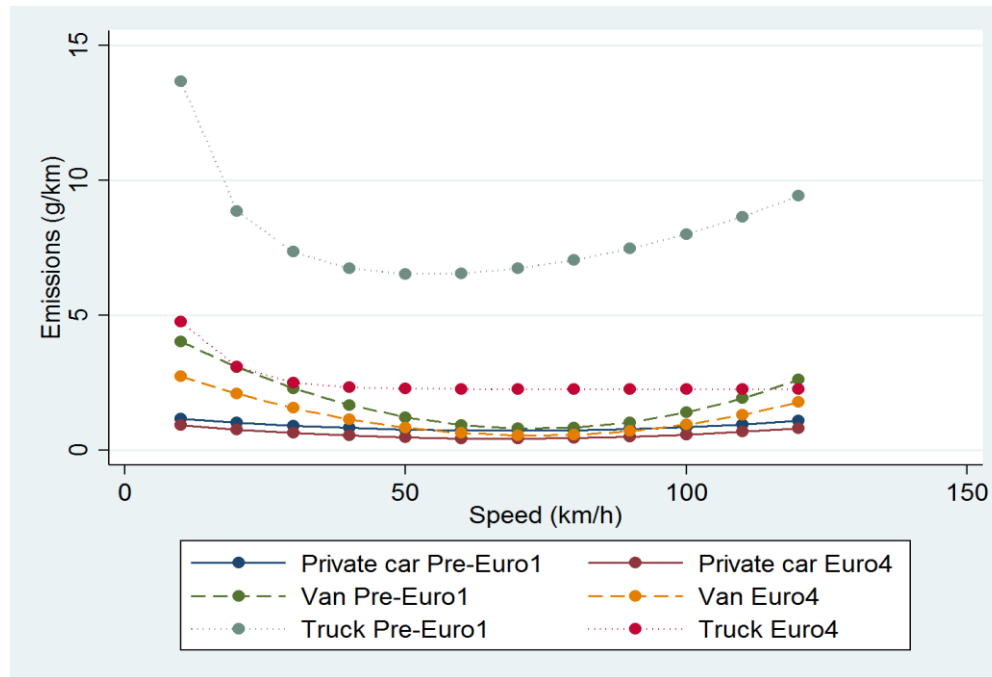
$$GC_p^k = VOT^k \times tt_p + c^k \times l_p$$

- L'affectation est estimée sous TRANSCAD

Modèle d'émissions :

- On mobilise le calculateur d'émissions COPCETE (v4), qui reprend la méthodologie européenne COPERT IV
- **Les émissions de polluants dépendent du flux de véhicules de classe k, de leur technologie (EURO) et de la vitesse**

NOx



- Prise en compte des sur-émissions « à froid » pour VP/VUL

	PC	LGV	HGV
Monetary costs (euro/km)	0.195	0.210	0.610
Vehicle occupancy (ind./veh.)	1.3	1.0	1.0
Time value of individuals (euros/h)	10.7	18.0	18.0
Load weight (tons/veh.)	0.0	0.294	1.941
Time value of shippers (euro/ton/h)	0.0	0.6	0.6
Time value of transport operators (euros/h/veh)	0.0	4.8	19.0
Private car equivalency factors	1.0	1.5	2.0-2.5

