

Le bilan environnemental du transport de fret en Ile-de-France : une analyse à l'échelle des tournées



Université
Gustave Eiffel



Les enjeux de la logistique urbaine

Qualité de l'air urbain

- 555 000 décès prématurés annuels dus à la pollution de l'air en Europe ([EEA, 2016](#))

L'importance du transport de marchandises

- Le mode routier représente environ 88% du fret de marchandises en France.
- En Ile-de-France les véhicules Utilitaires Légers (VUL) représentent 16% du trafic routier et les Poids Lourds (PL) 5%. ([Airparif, 2019](#))
- 50% du gazole consommé en ville par les transports urbains l'est pour le transport de marchandises.
- Le transport de fret en milieu urbain jusqu'à 50% des émissions de gaz à effet de serre et de polluants locaux liées au transport .
- Achats de particuliers représentent plus de 50% du trafic de marchandise en ville

Les enjeux de la logistique urbaine

Le cas de l'Ile-de-France

- Chaque jour le nombre de livraisons frôle le million en Ile-de-France ([Mairie de Paris](#)).
- Le budget annuel des ménages consacré à la consommation a triplé en 50 ans ([CERTU](#)).
- Chaque jour 70kg de marchandises sont déplacés pour chaque citoyen d'Europe, ce qui équivaut à 13 milliards de tonnes par an ([CERTU](#))

S'adapter aux mutations

- Explosion du e-commerce (X5 sur la période 2005-2012)
- Réduire les externalités environnementales
- Les enjeux liés à la logistique dépassent l'échelle métropolitaine et même régionale car le bassin parisien constitue un hub (routes, ports, gares, aéroports) pour l'approvisionnement national et une partie de l'Europe (plateformes d'envergure internationale([IAU & APUR](#))).

Les enjeux de la logistique urbaine

Motivations

- Le fret routier est nécessaire à la vie urbaine, mais il fait l'objet de nombreuses critiques.
- Impacts environnementaux vraisemblablement élevés des VL et des PL (GES, polluants locaux, bruit, mais aussi congestion et dégradation des chaussées).
- D'un point de vue scientifique :
- Soit les modèles de transport ignorent complètement les flux de marchandises
- soit les modèles classiques à 4 étapes les considèrent à un niveau très agrégé
- Les modèles multi-agents (MAM) dédiés à la logistique urbaine ne tiennent pas compte de leurs interactions avec le transport de passagers.

Nos activités de recherche

VITE!
POLL-EXPO

POLL-EXPO



Évaluer l'ampleur et les inégalités de pollution dans la métropole du Grand Paris, en simulant les impacts sur la qualité de l'air de différents scénarios urbains.

La mise en œuvre de ces scénarios seront par approche de modélisation numérique.



POLL-EXPO



Chaîne de modélisation numérique

Production de scénarios urbains

Scénarios
urbains
(Politiques
publiques)

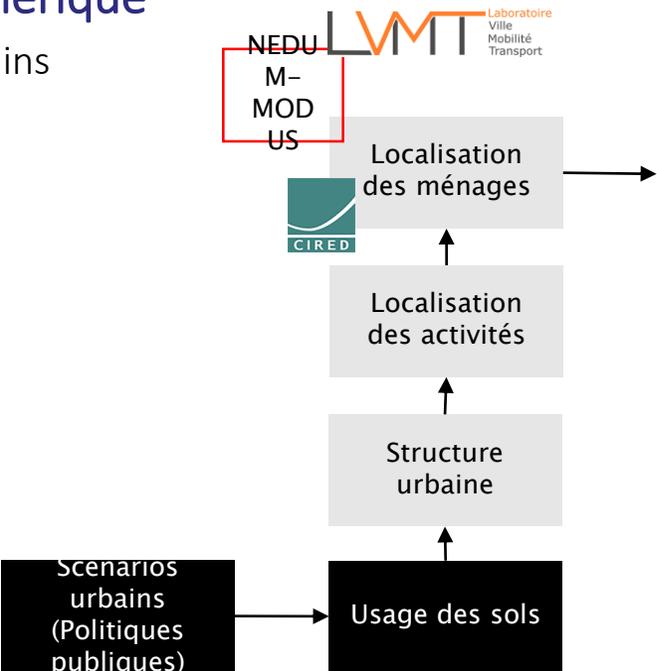


UNIVERSITÉ
PARIS-EST CRÉTEIL
VAL DE MARNE



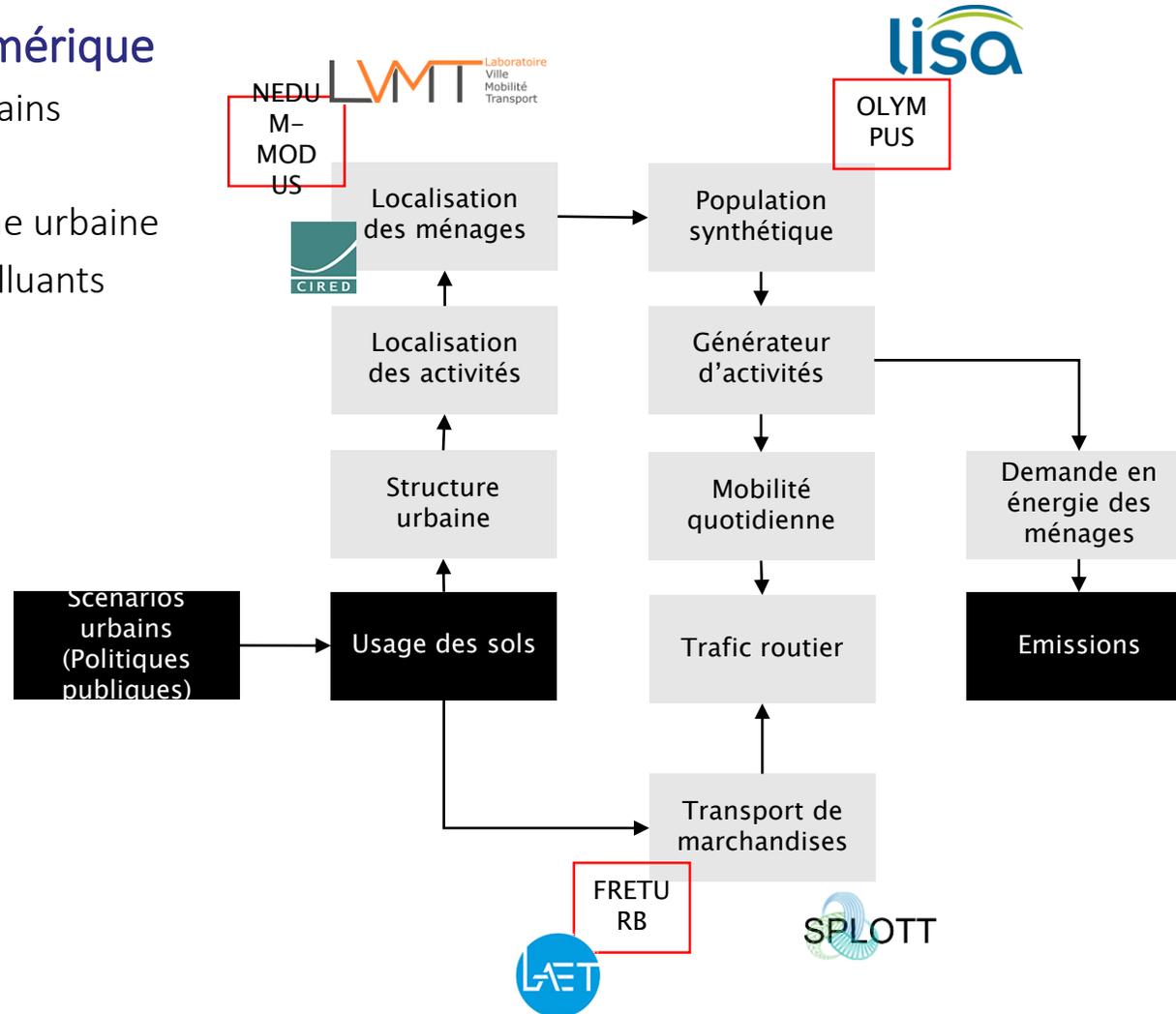
Chaine de modélisation numérique

Production de scénarios urbains
Evolution du tissu urbain



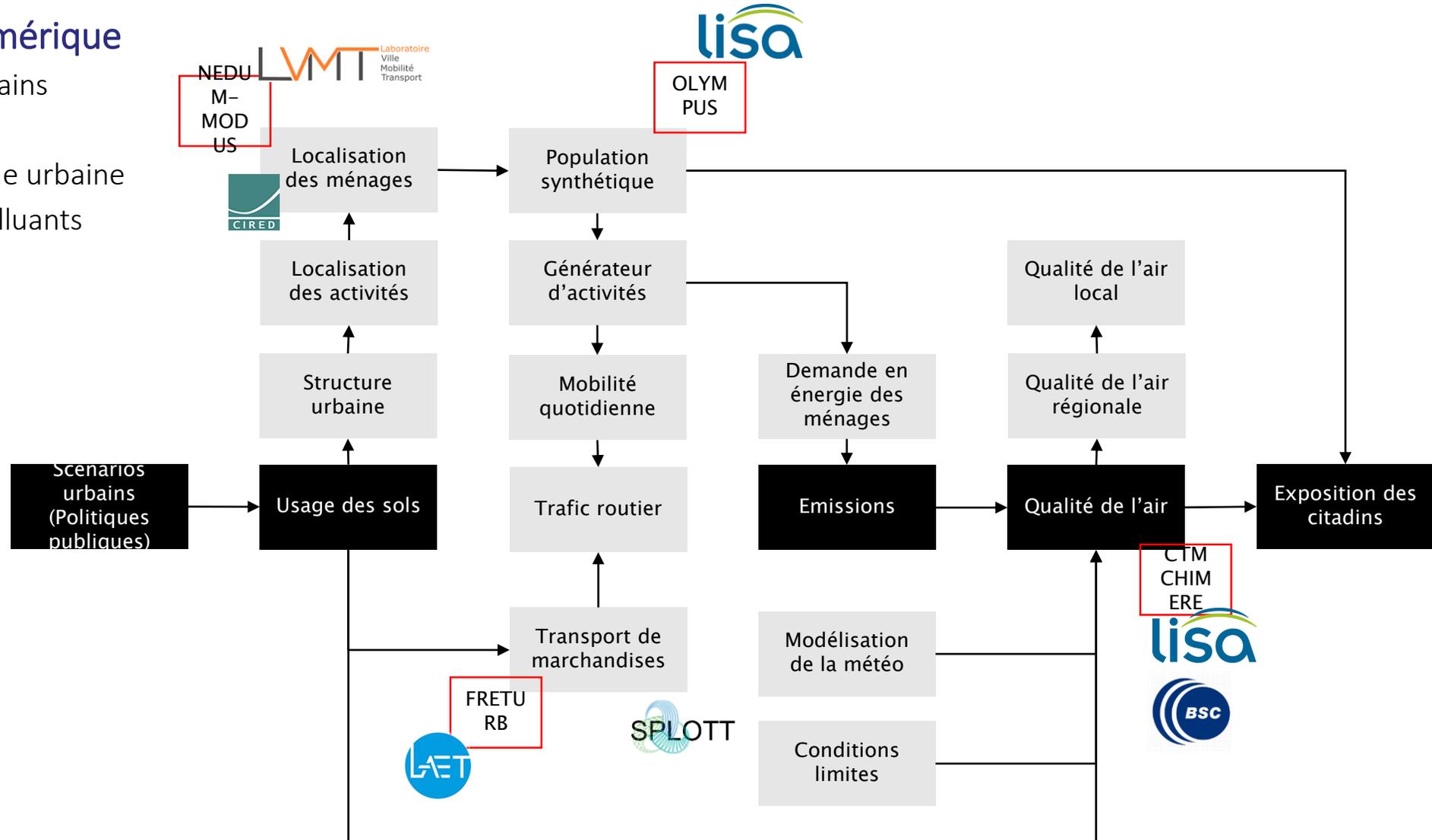
Chaîne de modélisation numérique

- Production de scénarios urbains
- Evolution du tissu urbain
- Analyse des liens QA et forme urbaine
- Scénarios d'émissions de polluants



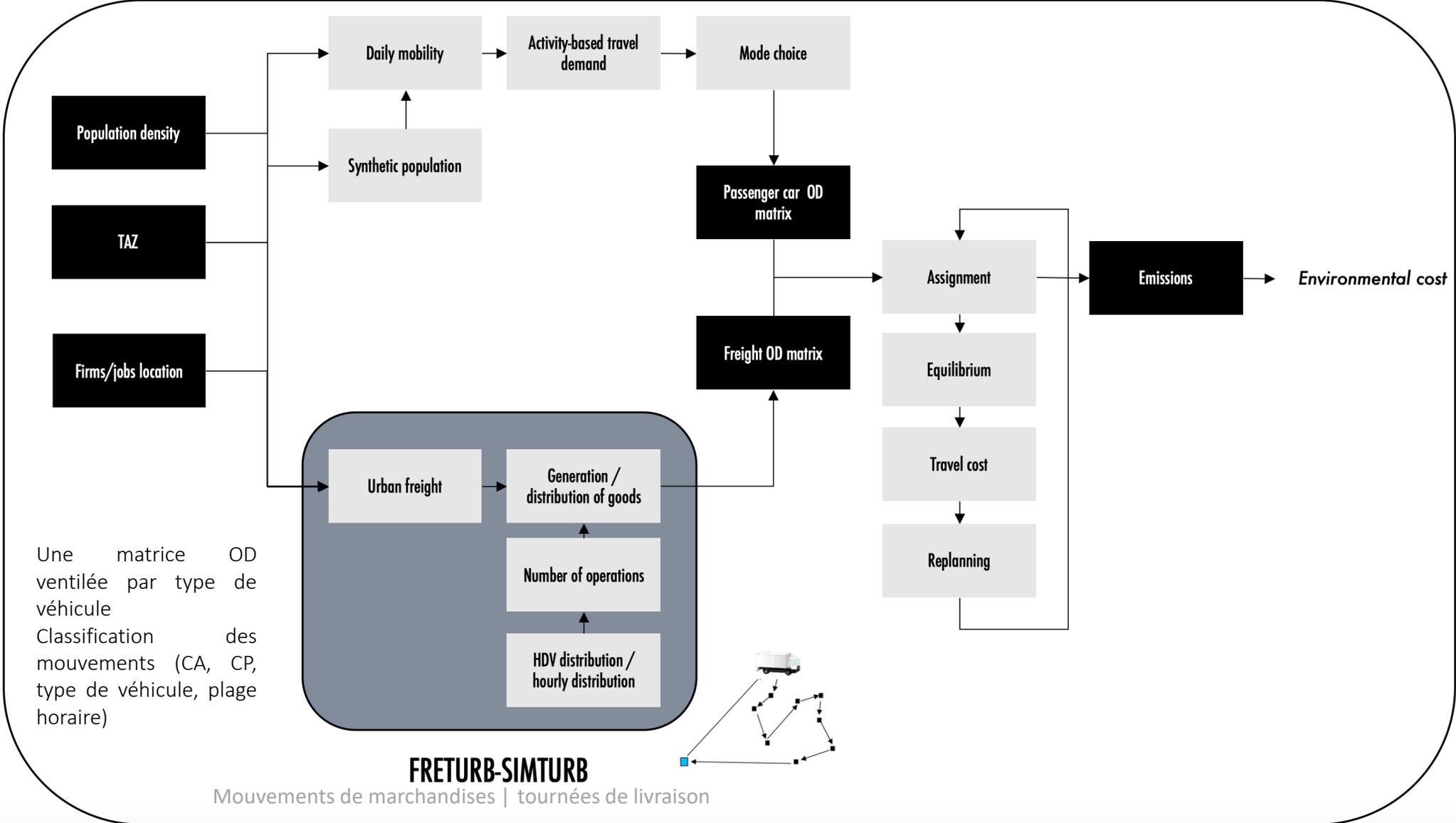
Chaine de modélisation numérique

- Production de scénarios urbains
- Evolution du tissu urbain
- Analyse des liens QA et forme urbaine
- Scénarios d'émissions de polluants
- Qualité de l'air et exposition



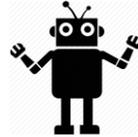
Structure de la plateforme de modélisation

FRETURB-SIMTURB
OLYMPUS



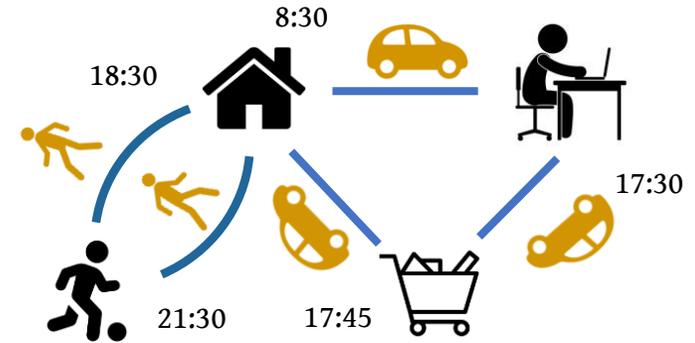
Simulation d'émissions de polluants urbains basée sur des agents

Agent : Une personne synthétique, faisant partie d'une population synthétique.



EDT : le planning d'activité d'un agent pour une journée type.

« Aller au travail à 08:30 → Faire des courses en rentrant à 17:30 → être à la maison à 18:00 → Aller au sport à 18:30 → Rentrer à la maison à 22:00 »



OLYMPUS-FRETURB - Application

Couplage OLYMPUS-SIMTURB

Données produites

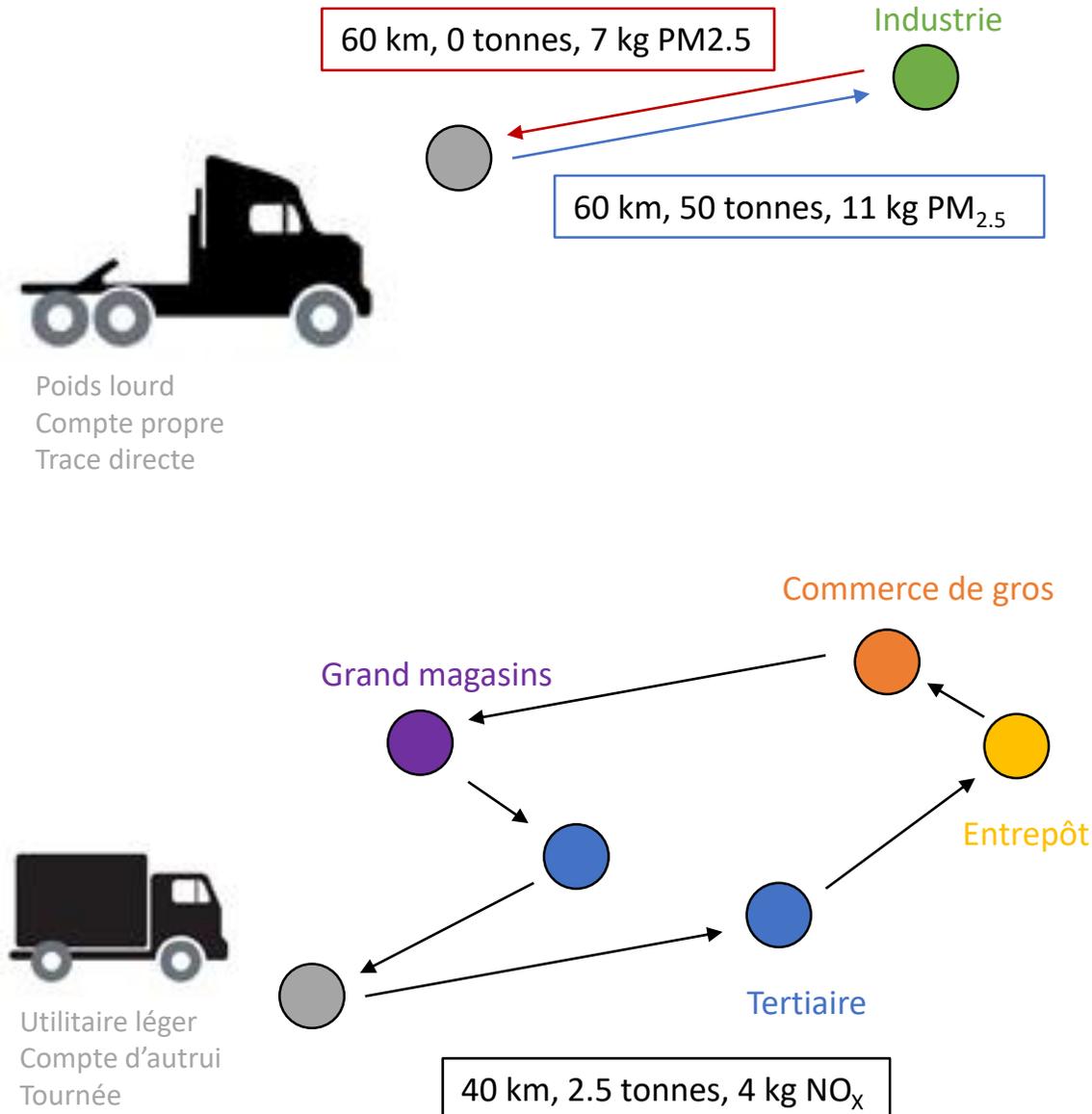
Emissions (NO_x, PM, CO, COVNM) spécifiées :

- Type de porteur (PL, VUL)
- Nombre d'arrêts
- Type de mouvements (TD, tournées)
- Heures de livraisons
- Quantité de marchandise transportée
- Code ST8 entreprise livrée

Objectifs

Estimer le coût social total du transport en IDF, en distinguant les contributions respectives des VP, VUL et PL.

Comparer les résultats du benchmark avec ceux d'un scénario où des cargobikes sont utilisés à la place des VL.



APPLICATION SUR L'ILE DE FRANCE

La région Ile de France

Quelques données d'entrée

Définition spatiale

La région parisienne est divisée en environ 5 400 zones (IRIS).

Réseaux de transport : 21 000 km de routes, temps de parcours pour tous les OD de TC

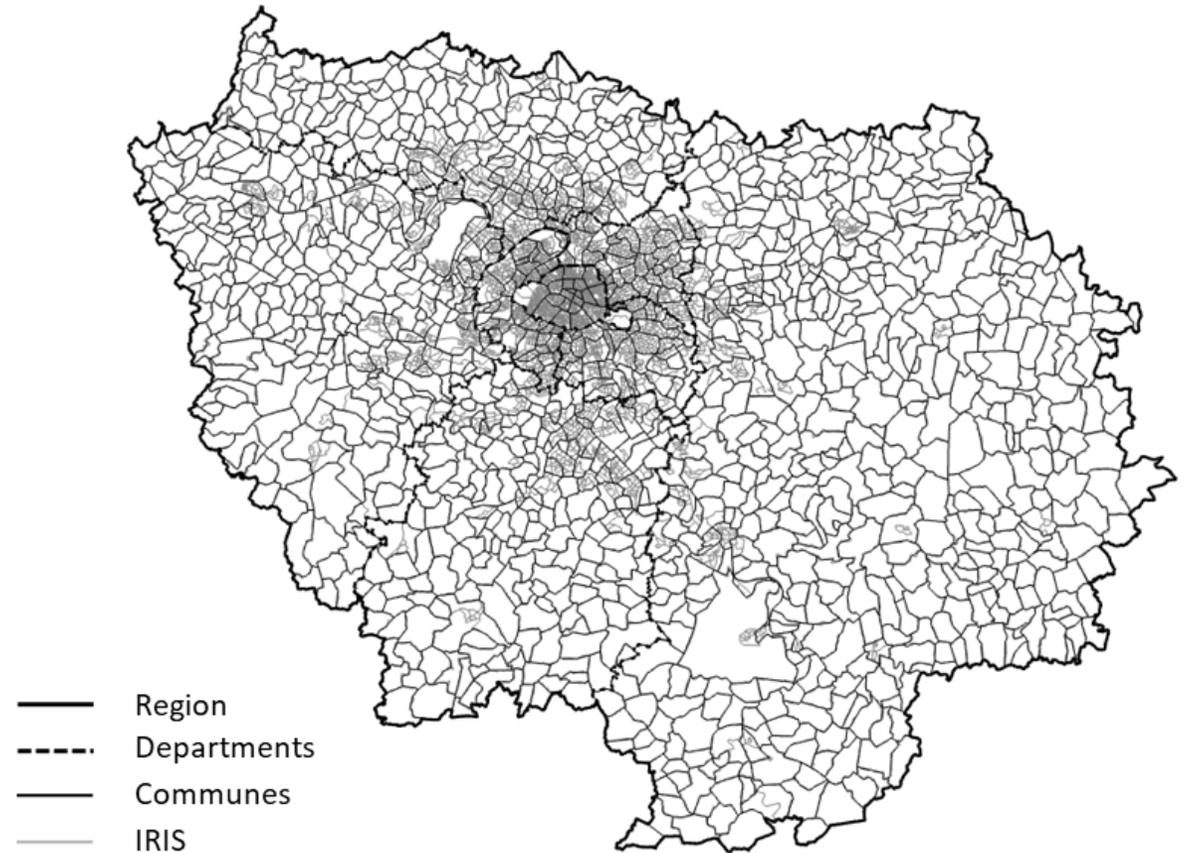
Agents

La population : 12 M d'habitants répartis dans 5 foyers de 6 strates sociales

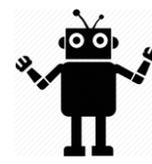
Fret

Activités économiques : 9 millions d'emplois répartis dans 0,9 million d'entreprises de 700 secteurs.

Flottes : répartition de 4 classes de véhicules par poids et catégories EURO



OLYMPUS – Bases de données



	Module	Inputs	Sources	Description
	Population synthétique	Nombre de ménages, sexe du ménage, âge, taux d'emploi, densité du ménage	INSEE	Ces données sont principalement issues du recensement de la population régionale
	Préprocesseur de déplacements	Points du réseau TC	Ile de France	Ces bases de données sont spatialisées au format SIG.
	Demande de déplacements	Centres d'emploi Nombre de déplacements journalier Durée moyenne du voyage en TC Coût de la voiture Coût du TC	INSEE STIF, DRIEA STIF OMNIL	Ces données sont principalement issues d'enquêtes, notamment l'enquête mondiale sur les transports (EGT), l'enquête sur les déplacements des ménages (EMD), mais aussi de statistiques nationales
	Affectation sur le réseau	Réseau routier	LVMT / OSM	Le réseau routier principal
	Demande en énergie du bâti	Mix énergétique	ARENE	Agence régionale de l'énergie du Grand Paris
	Emissions de polluants	Flotte de véhicules roulant	Carteret et al., 2015	Études d'observation de la flotte par vidéo

Résultats

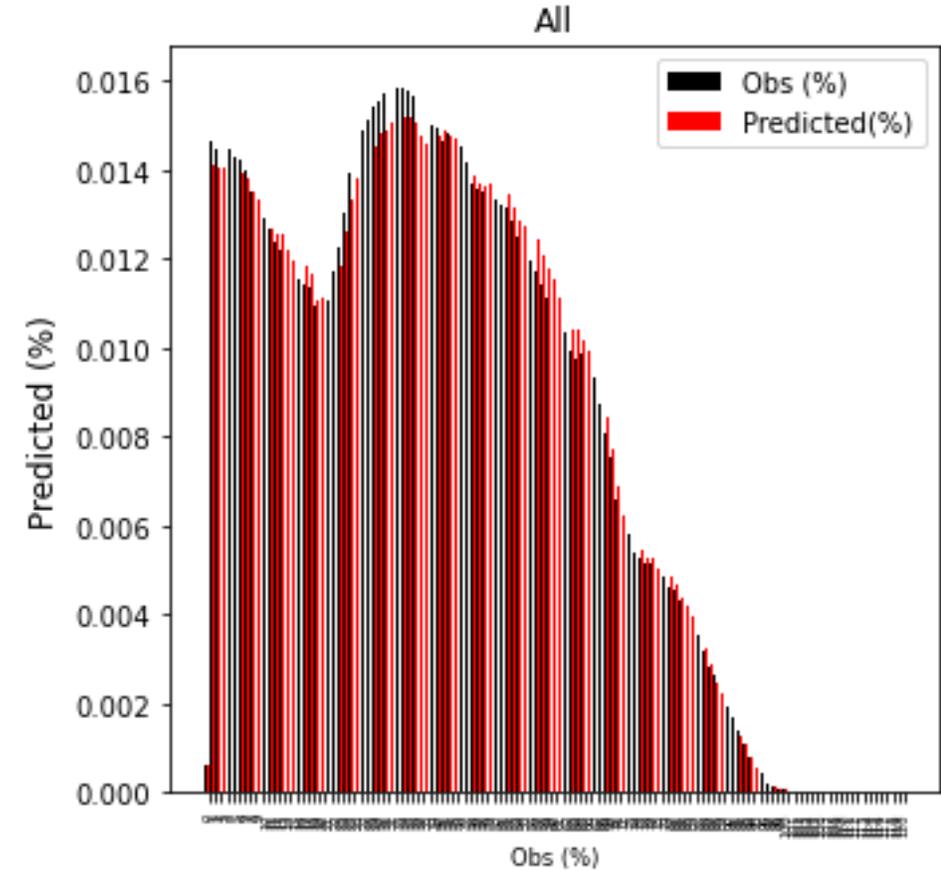
Génération de la population synthétique

Fichiers d'entrée

Population OLP, recensement 2010 (RGP2010), FiloSoFi 2010 et l'EGT 2010

Validation statistique

Représentativité de l'échantillon de population retenu
R, MAE, RMSE



Résultats

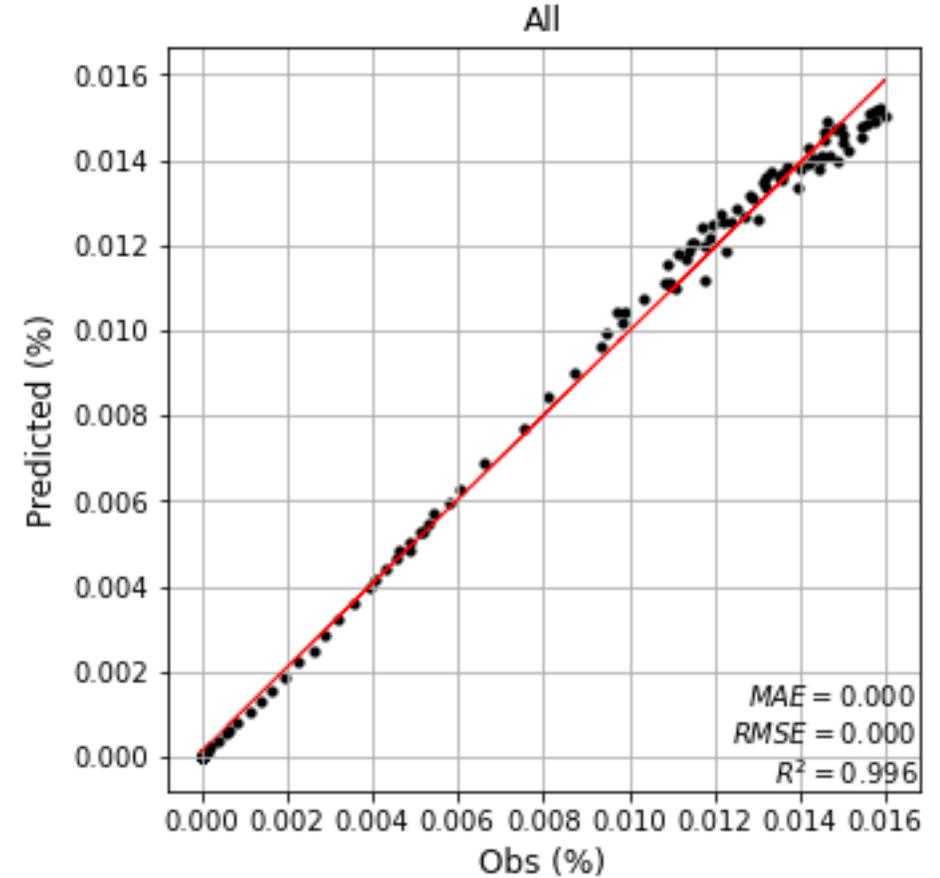
Génération de la population synthétique

Fichiers d'entrée

Population OLP, recensement 2010 (RGP2010), FiloSoFi 2010 et l'EGT 2010

Validation statistique

Représentativité de l'échantillon de population retenu
 R^2 , MAE, RMSE



Statistiques sur la mobilité



Passagers (Olympus) :

Un total de 42 millions de voyages de passagers par jour ;
3,9 voyages par personne.

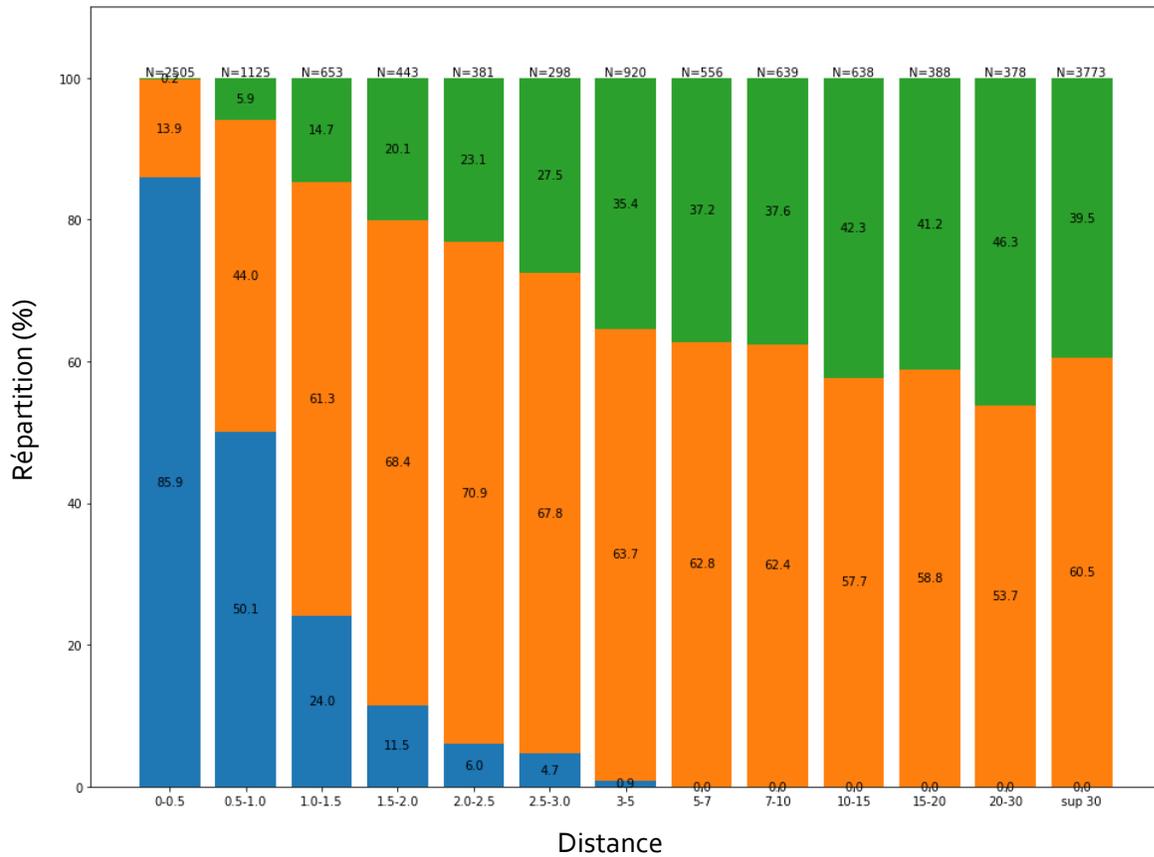
	OLYMPUS	EGT	RD
Average number of trips per day	4.05	3.87	4.6%
Average length of a trip(km)	4.7	4.4	6.9%
Total number of trips (millions)	41	41	1%
Motorized individual trips	40.4%	39.5%	+ 0.9%
walking, cycling	41.9%	40.3%	+ 1.6%
Trips by public transportation	17.7%	20.1%	-2.4%

Comparaison de la mobilité modélisée (OLYMPUS) à l'Enquête globale des transports (EGT)

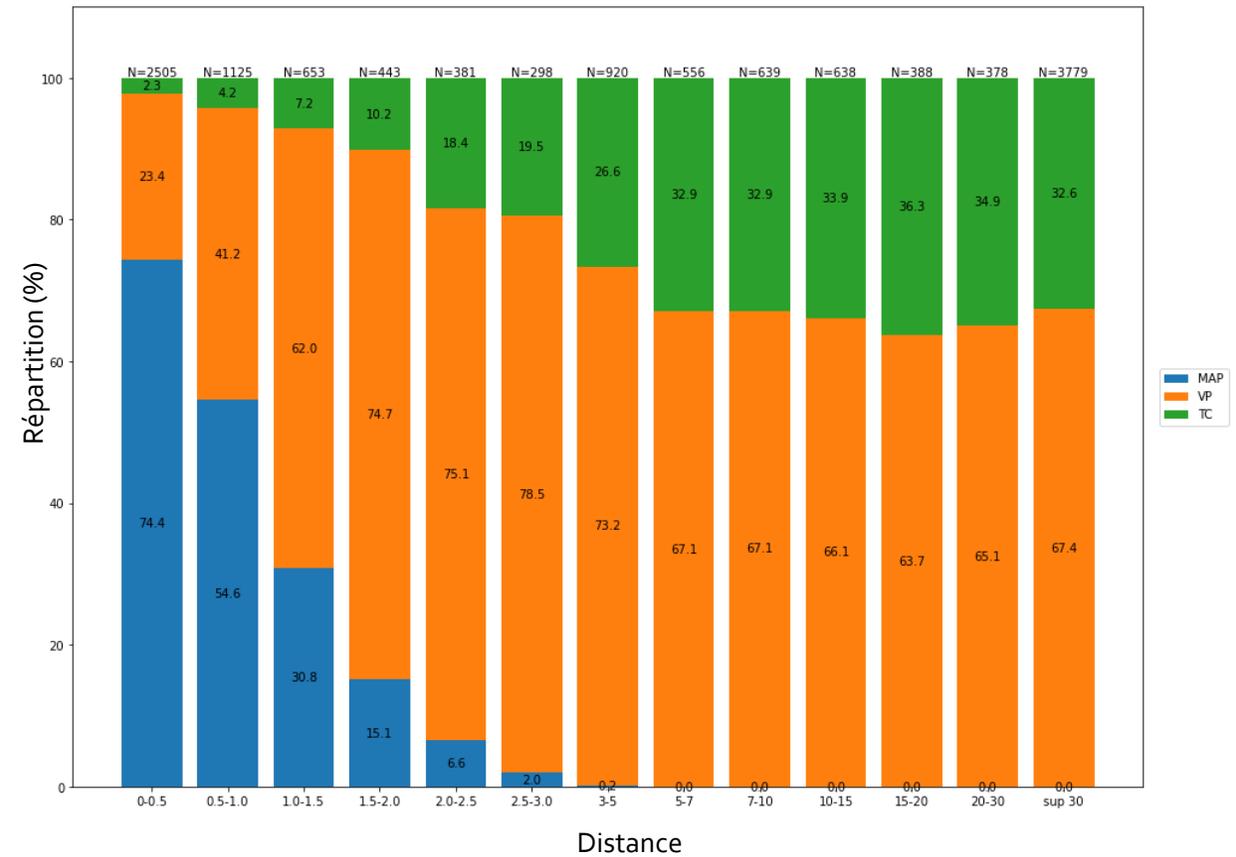
Statistiques sur la mobilité



EGT



OLYMPUS



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

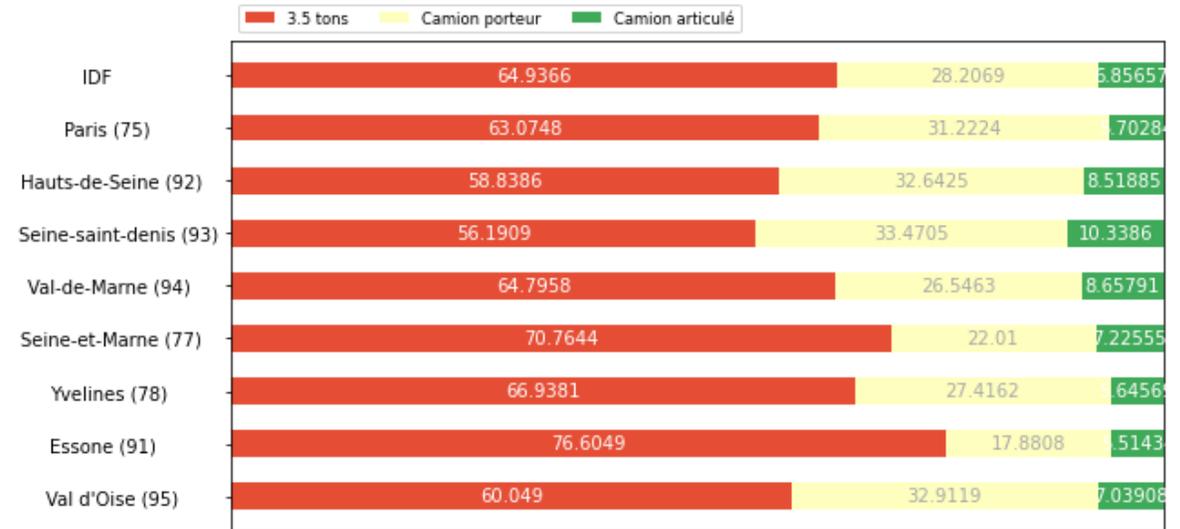
67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

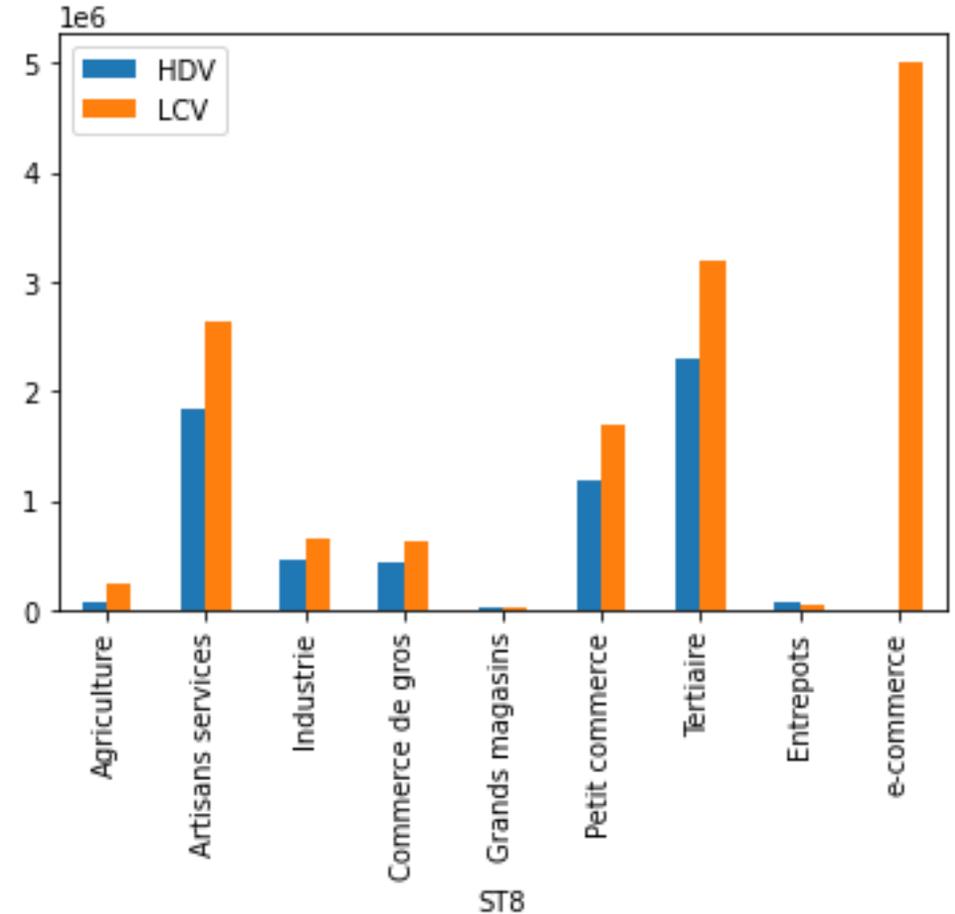
67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.



Recensement des mouvements en véhicules par sous-secteur ST8 dans Paris.

Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

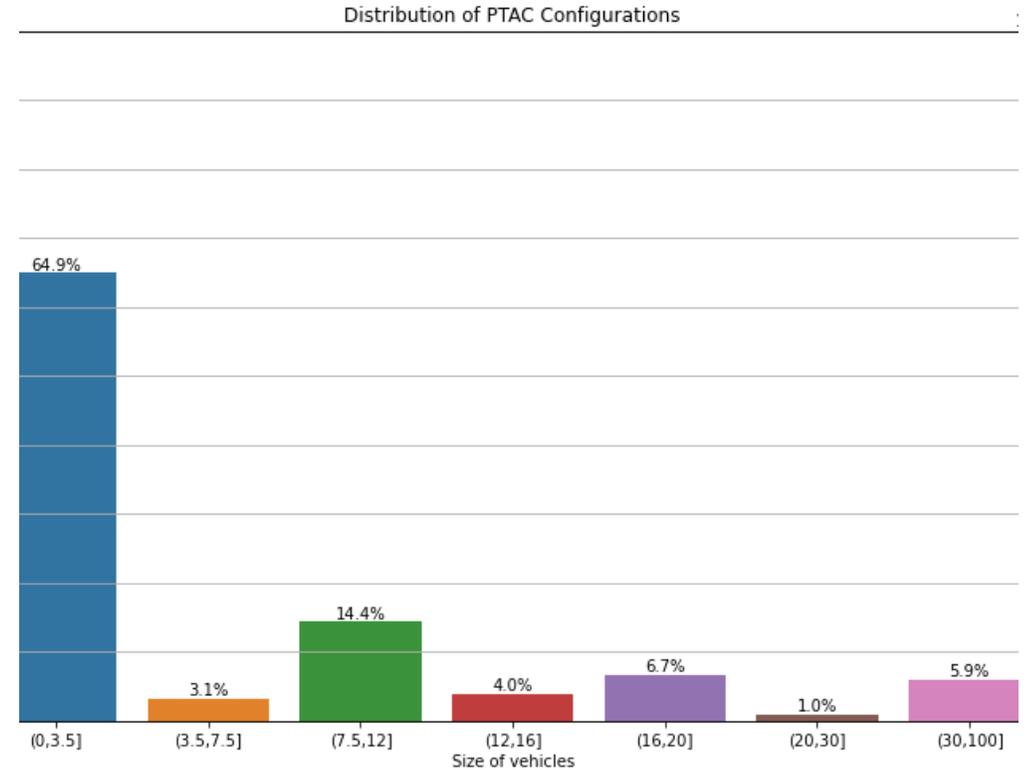
67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

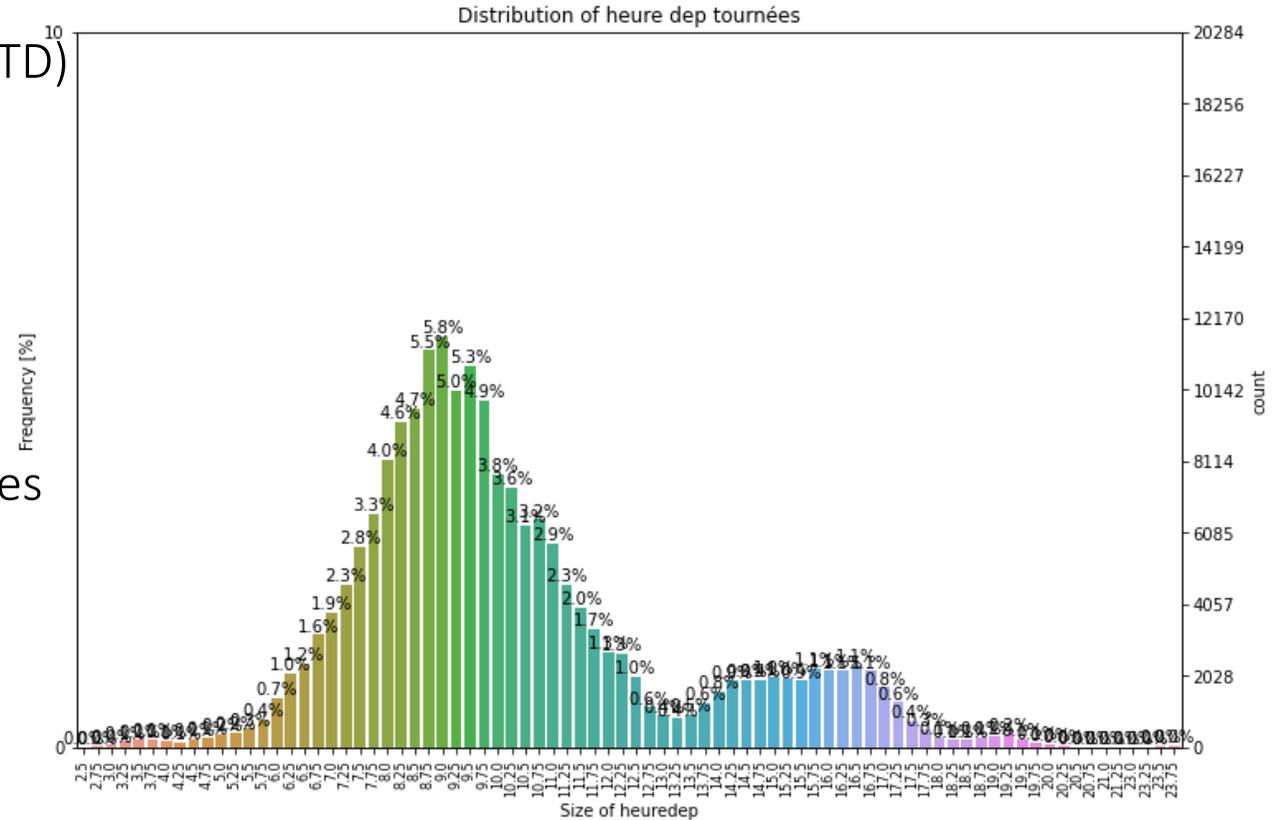
64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.

Distribution horaire des tournées variable (VUL/PL)



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

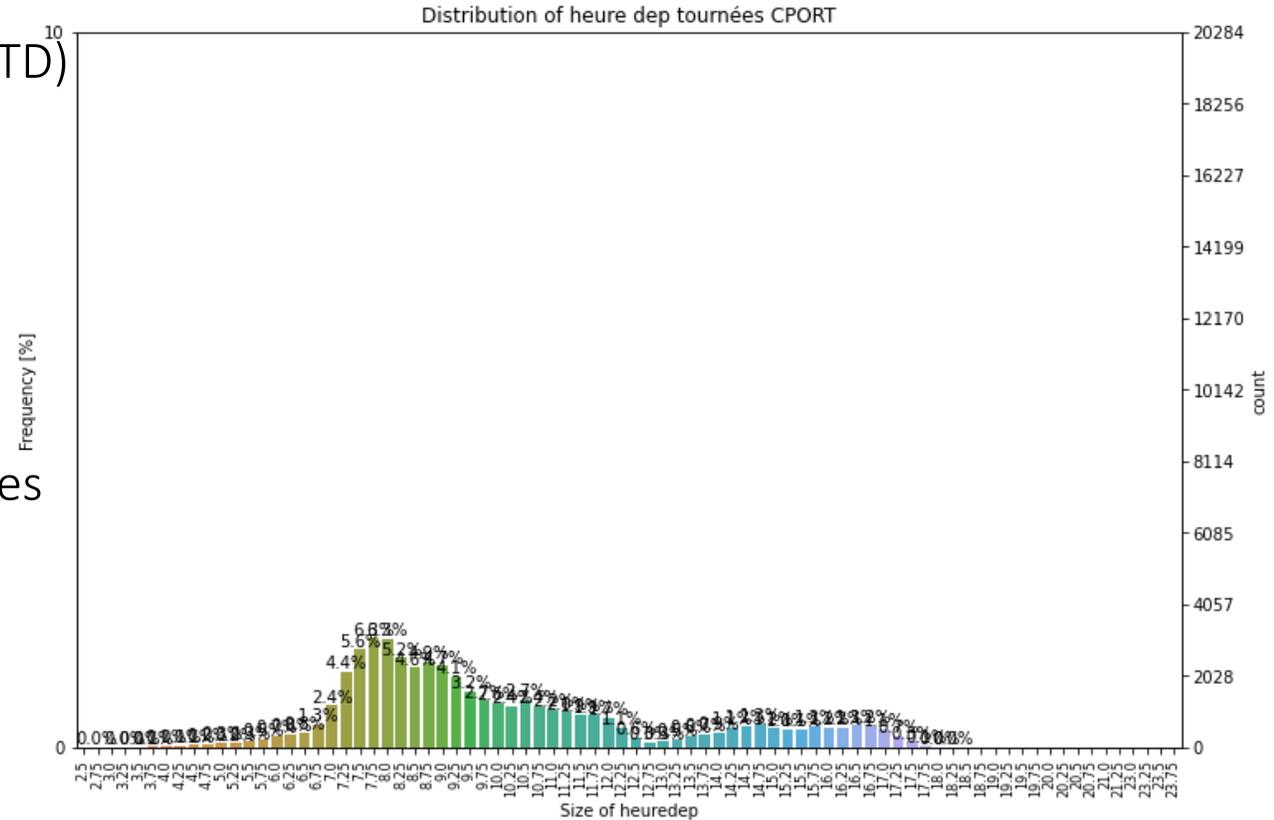
64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.

Distribution horaire des tournées variable (VUL/PL)



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

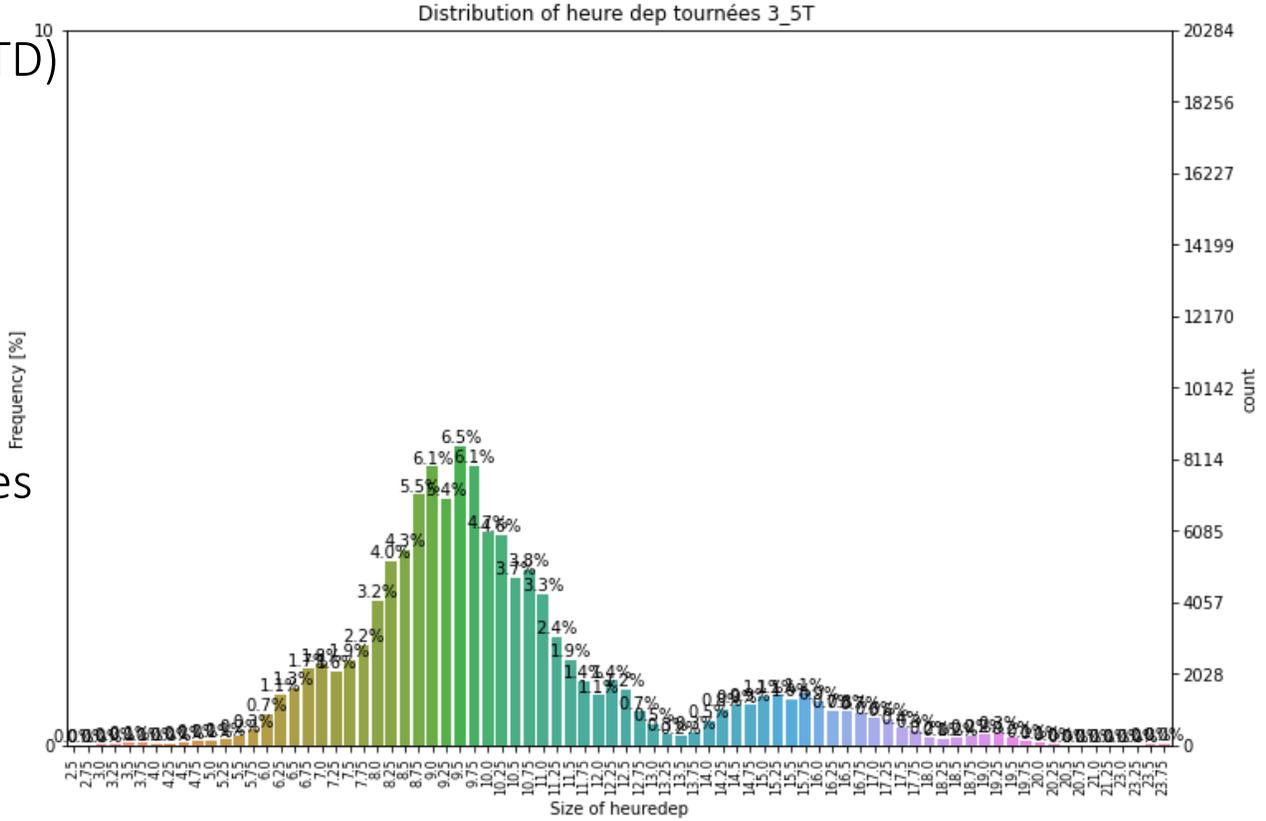
64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.

Distribution horaire des tournées variable (VUL/PL)



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

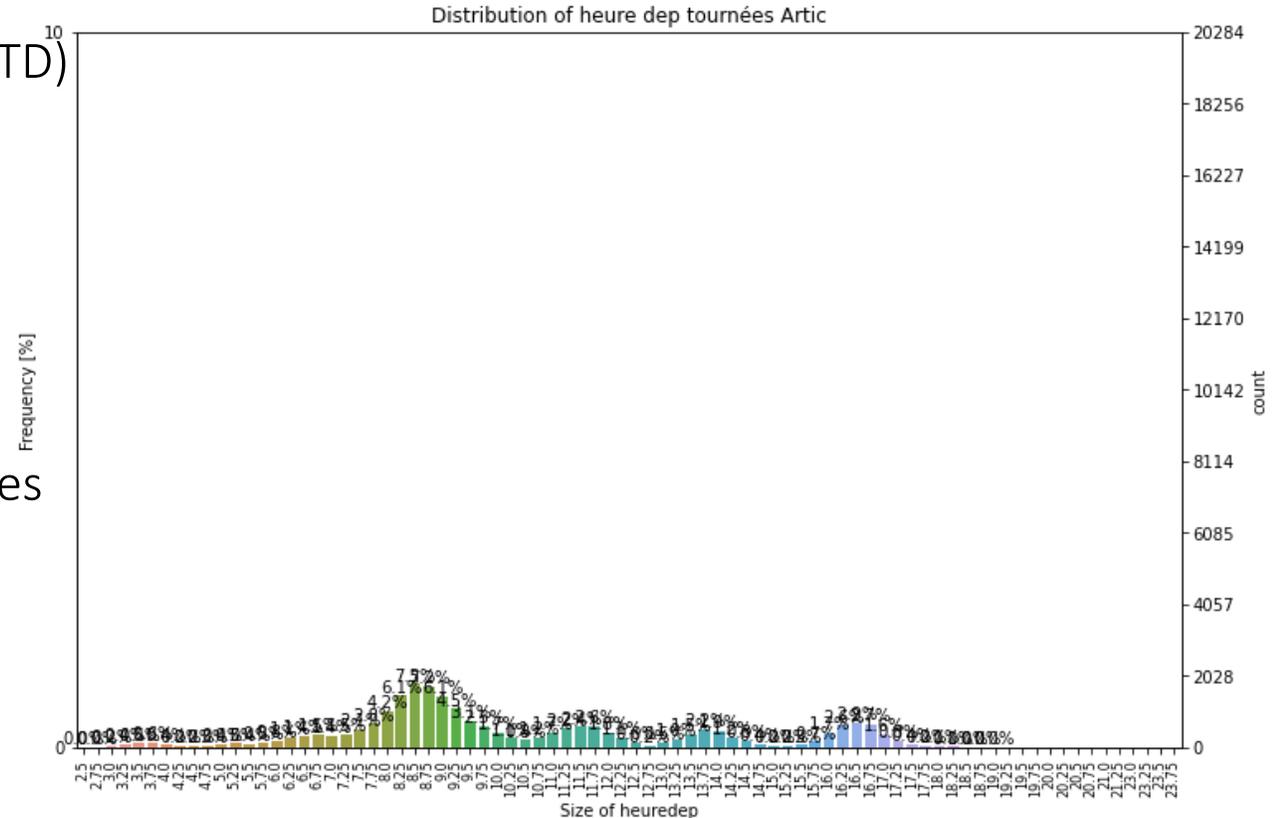
64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.

Distribution horaire des tournées variable (VUL/PL)



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

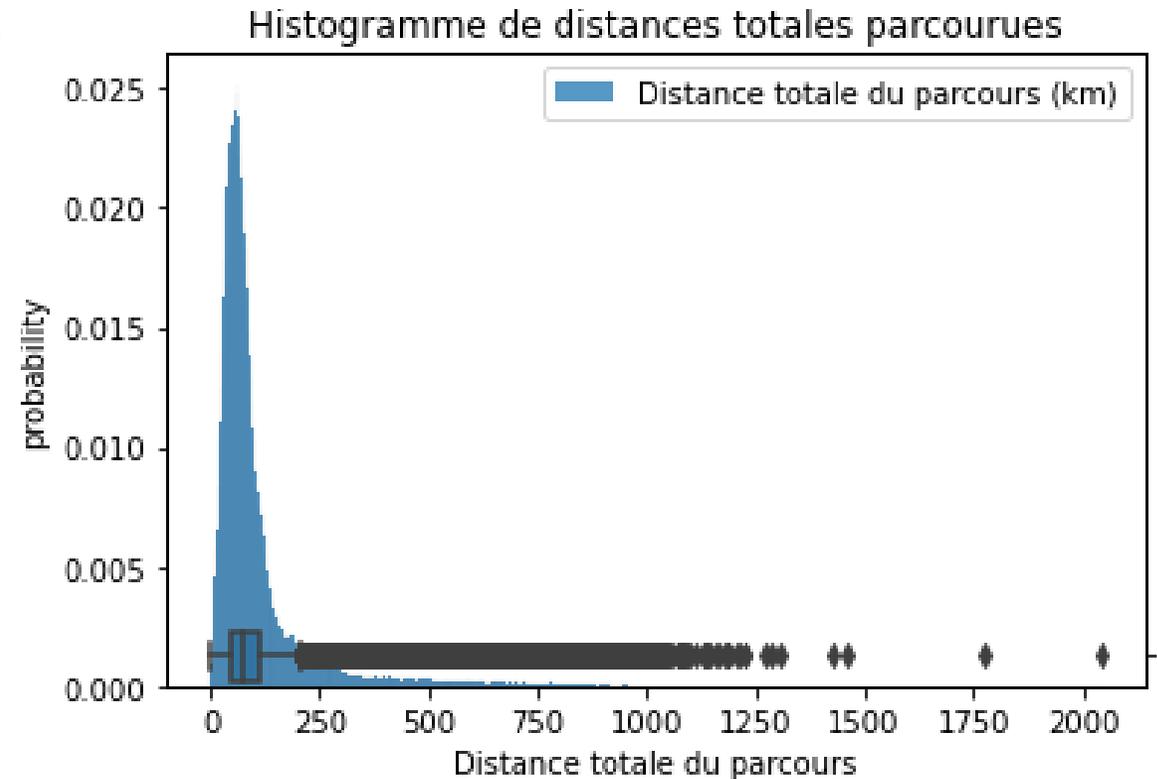
202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.

Distribution horaire des tournées variable (VUL/PL)

Variabilité des distances totales parcourues



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

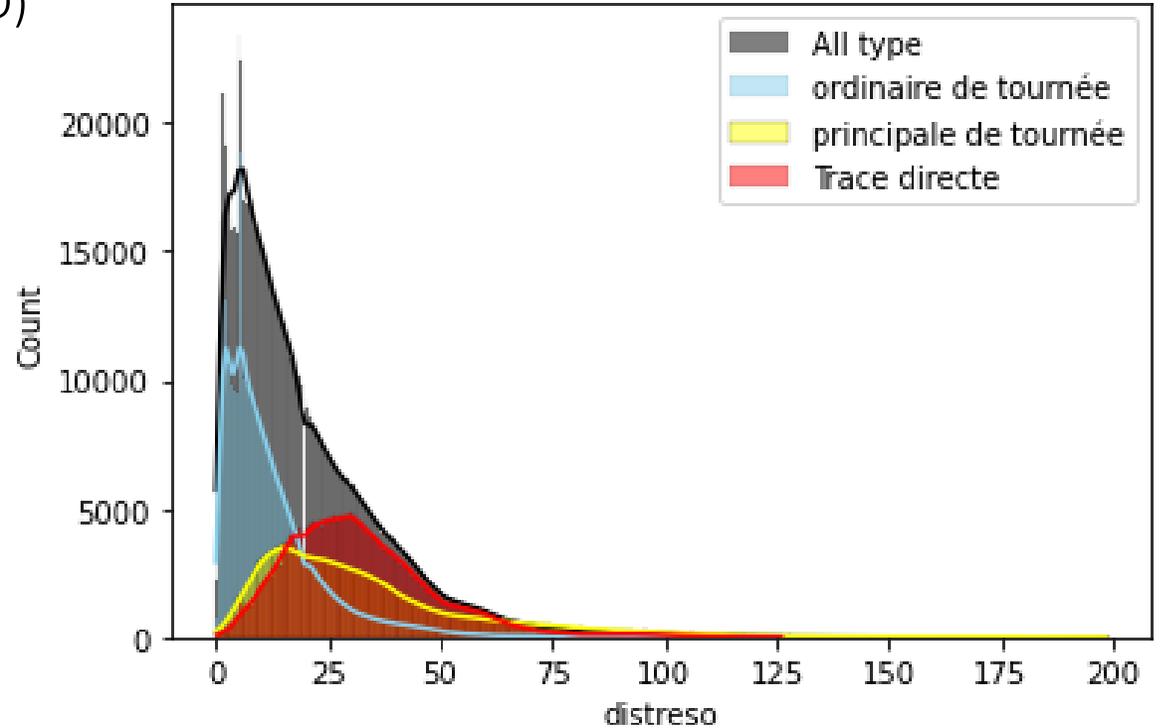
202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

Distribution des PTAC non linéaire.

Distribution horaire des tournées variable (VUL/PL)

Variabilité des distances totales parcourues



Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

TMV (FRETURB-SIMTURB)

67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

64.0 % de véhicules utilitaires légers (VUL), 24.2% de camion porteur et 11.8% de véhicules articulés

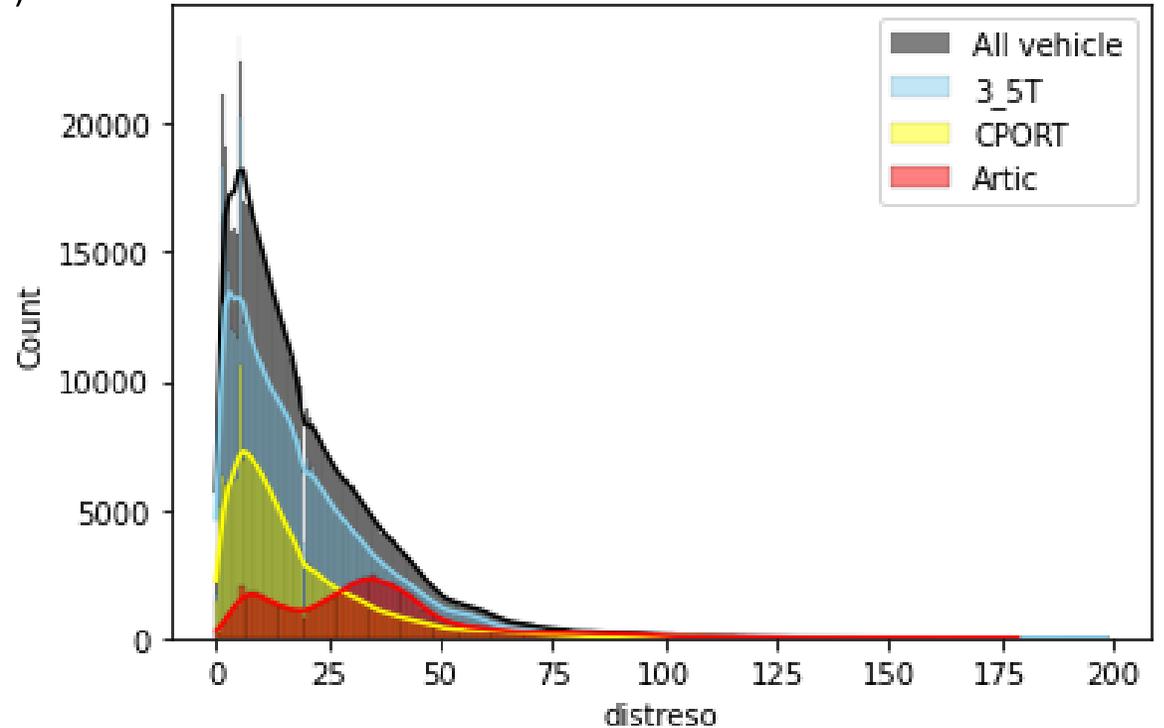
202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

Distance Totale du parcours pour l'ensemble des tournées est de 2 247 6812.21 km.

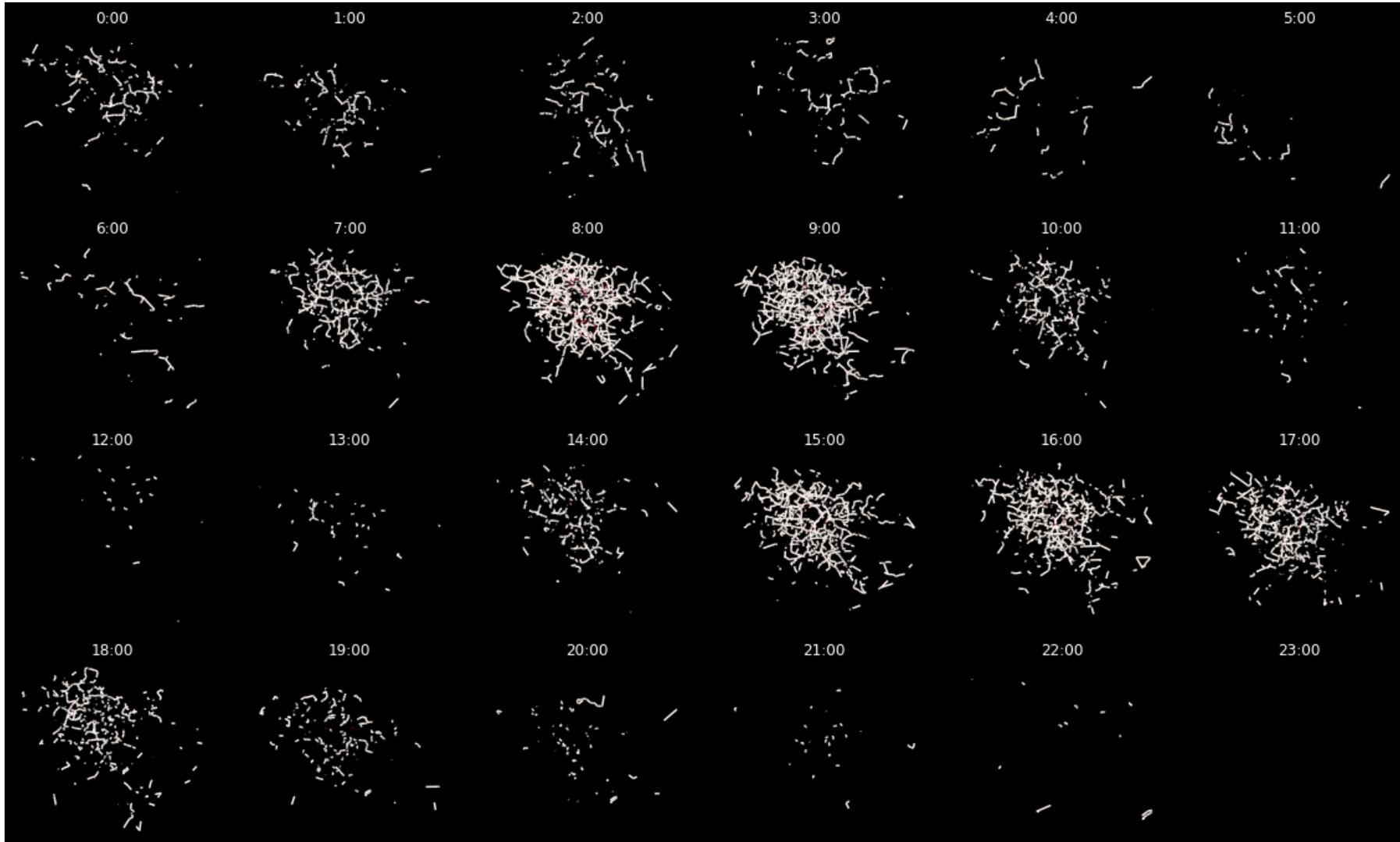
Distribution des PTAC non linéaire.

Distribution horaire des tournées variable (VUL/PL)

Variabilité des distances totales parcourues



Spatialisation de la demande de transport routier



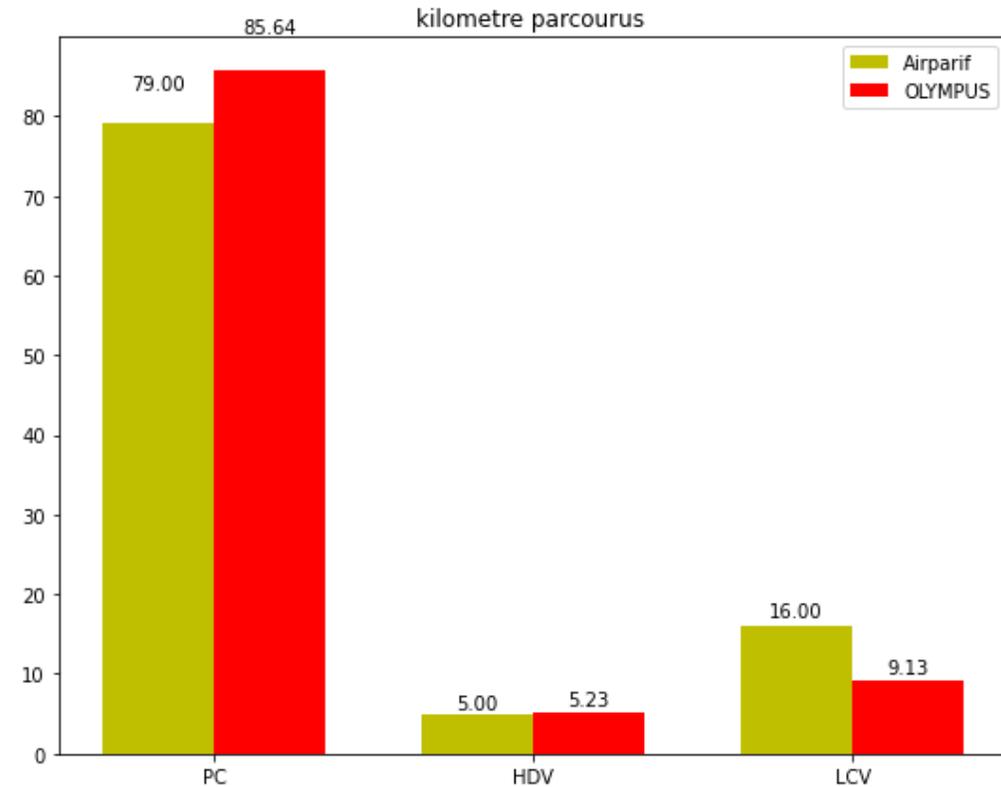
Volume sur les capacités en région Ile-de-France avec 0,1% de la population simulée

Trafic routier

Trafic routier

En termes de kilomètres parcourus les véhicules particuliers représentent 85.64% des kilomètres parcourus. En comparaison avec le rapport d'Airparif sur l'année 2010 on observe une différence de près de 6%.

Les utilitaires légers et les poids lourds représentent respectivement 9% et 5% des kilomètres parcourus. On observe une différence de -7% pour les utilitaires et de +0.23% pour les poids-lourd.

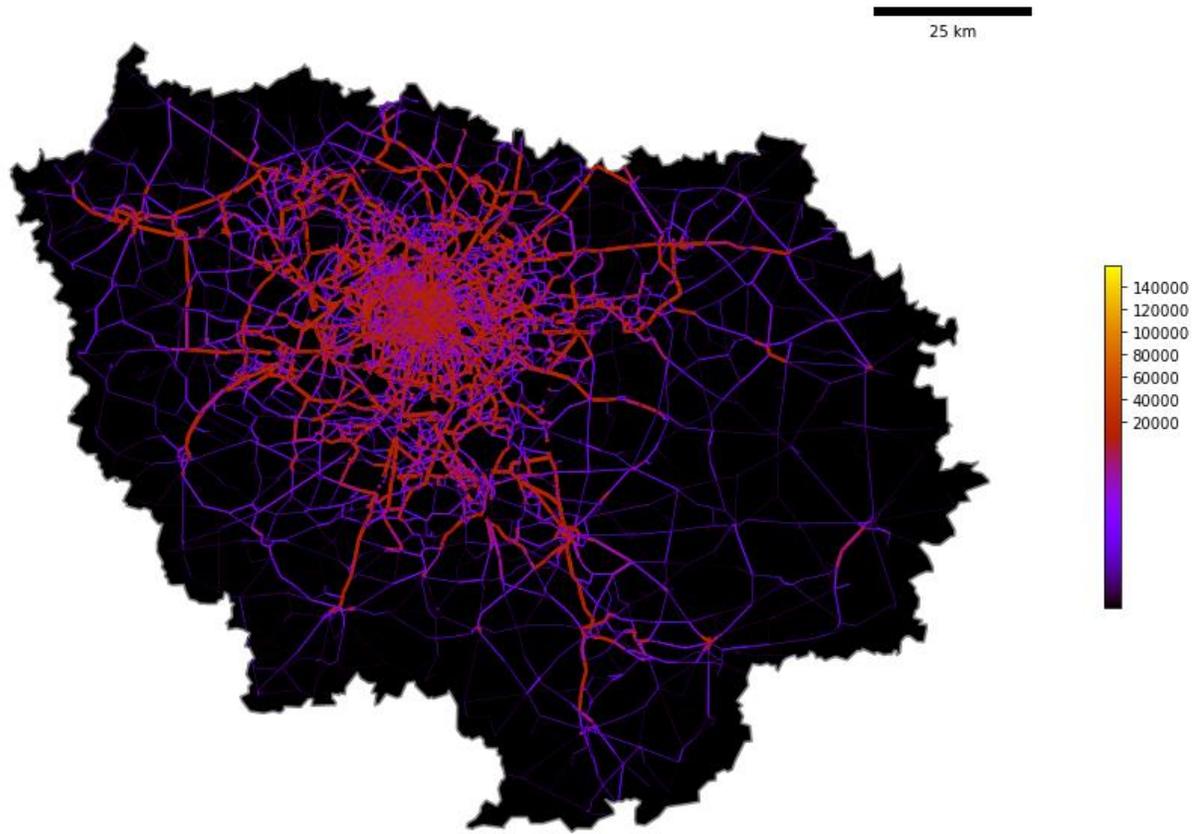


Distribution des kilomètres parcourus modélisés et comparaisons avec des données d'inventaires d'émissions (Airparif)

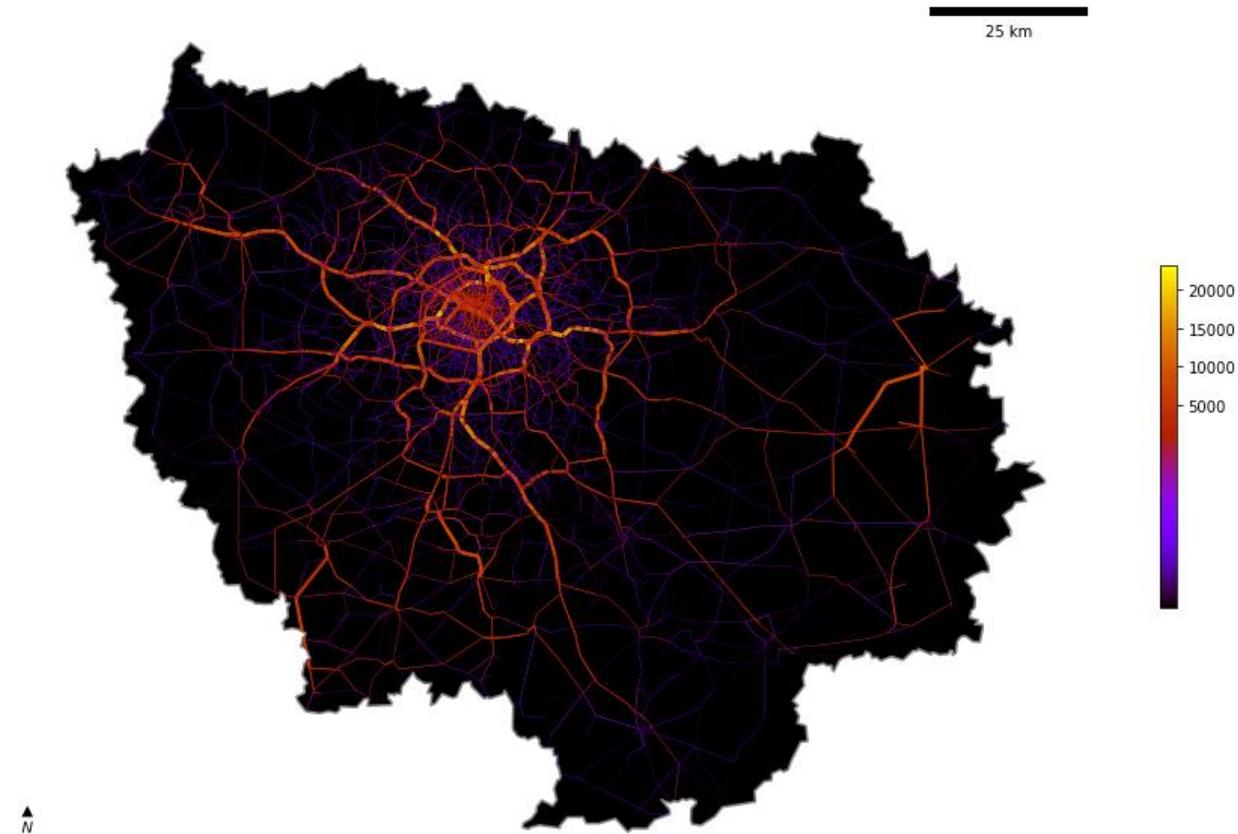
Trafic routier

Spatialisation de la demande de transport routier

Modélisation des itinéraires routiers



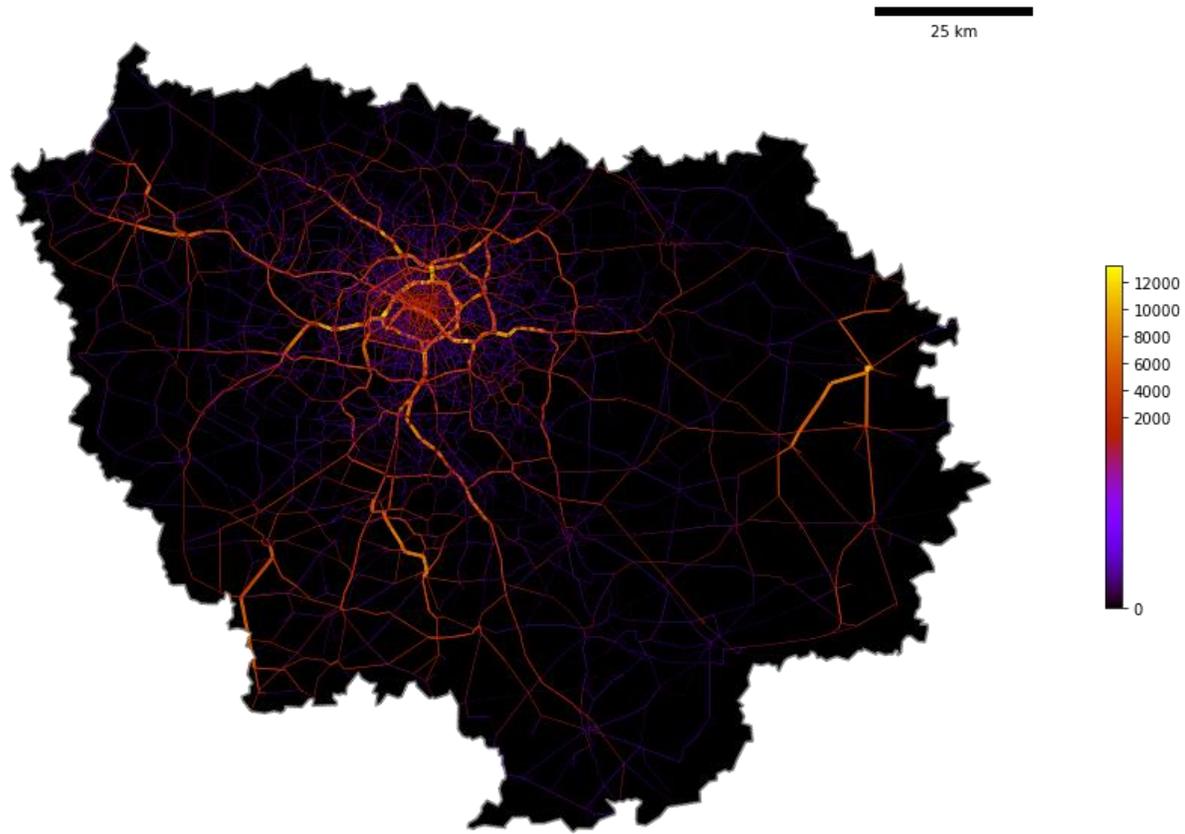
Passagers



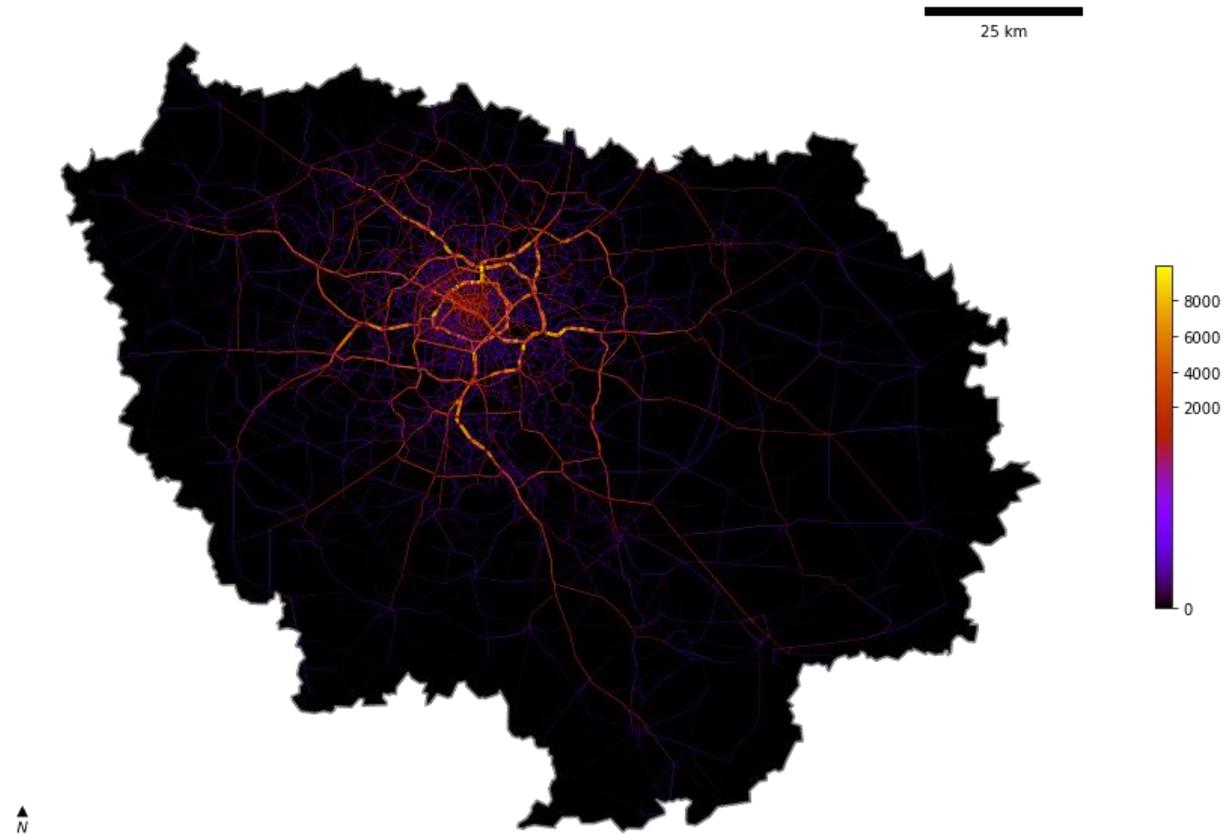
Marchandises

Spatialisation de la demande de transport routier

Modélisation des itinéraires routiers



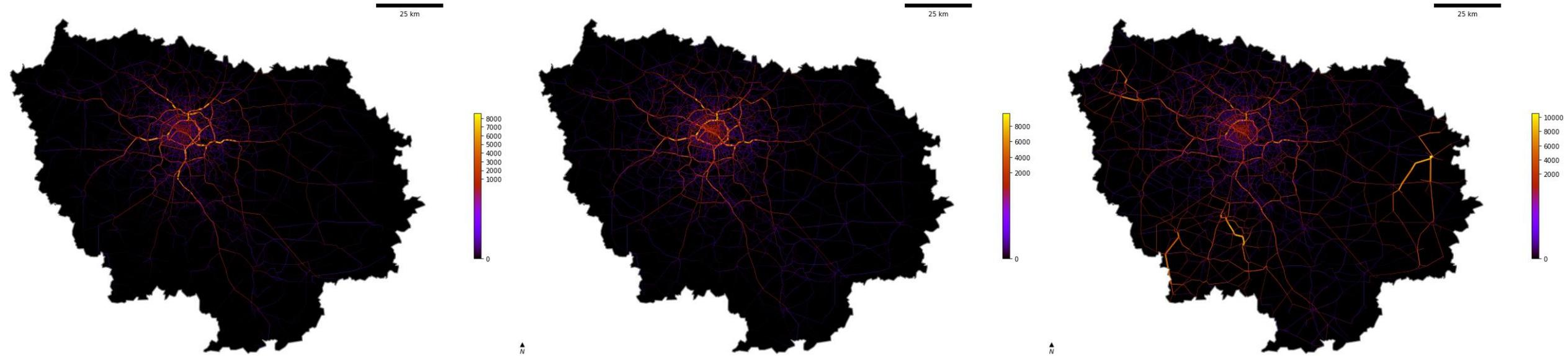
Véhicules utilitaires légers



Poids lourds

Spatialisation de la demande de transport routier

Modélisation des itinéraires routiers



Compte propre (CPE)

Compte propre (CPD)

Compte d'autrui (CA)

Emissions

Parc de référence

Parc technologique de véhicules (VP, VUL, PL)
en 2015

Déclinaison par catégories de véhicules,
technologies, tailles, classes de
règlementations de polluants

Bilan d'émissions

Emissions annuelles de polluants
atmosphérique

	VP	VUL	PL	Total	Fret
NOx (ton/y)	21 475	4870	19 080	45 425	53%
PM10 (ton/y)	719	125	380	1 224	41%
PM2.5 (ton/y)	719	125	380	1 224	41%
NMVOC (ton/y)	378	147	617	1141	67%

Emissions

Parc de référence

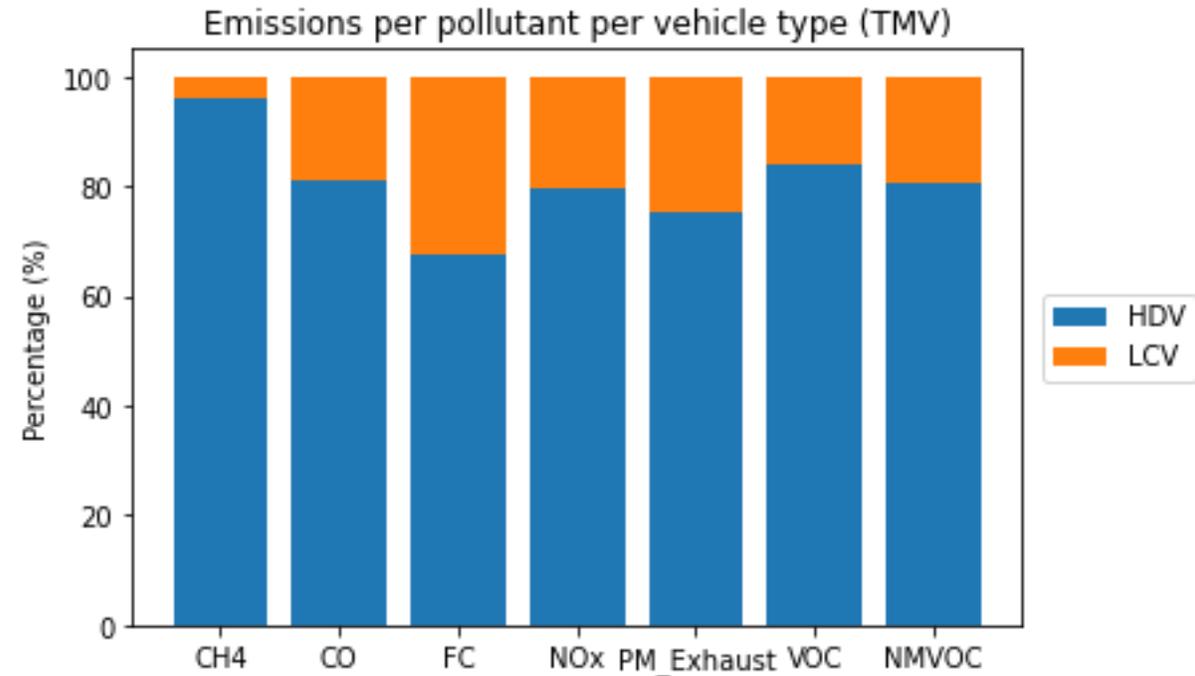
Parc technologique de véhicules (VP, VUL, PL) en 2015

Déclinaison par catégories de véhicules, technologies, tailles, classes de réglementations de polluants

Bilan d'émissions

Emissions annuelles de polluants atmosphérique:

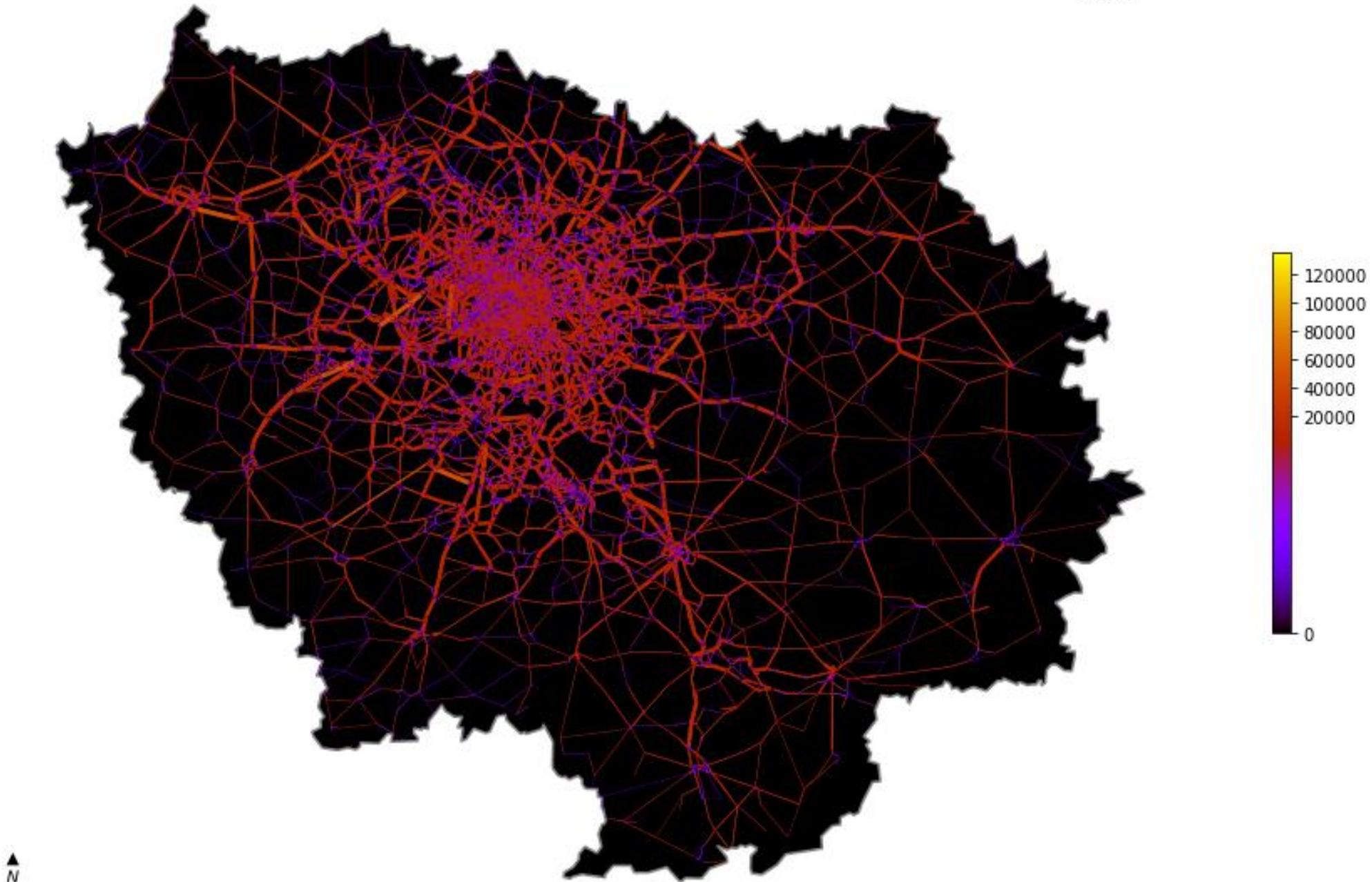
Près de 80 % des émissions de polluants du TMV sont issues des poids lourds.



VP

Somme des émissions journalières de Nox en g

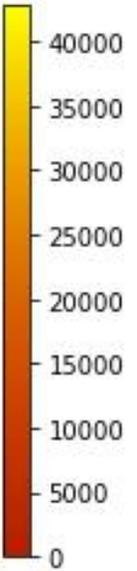
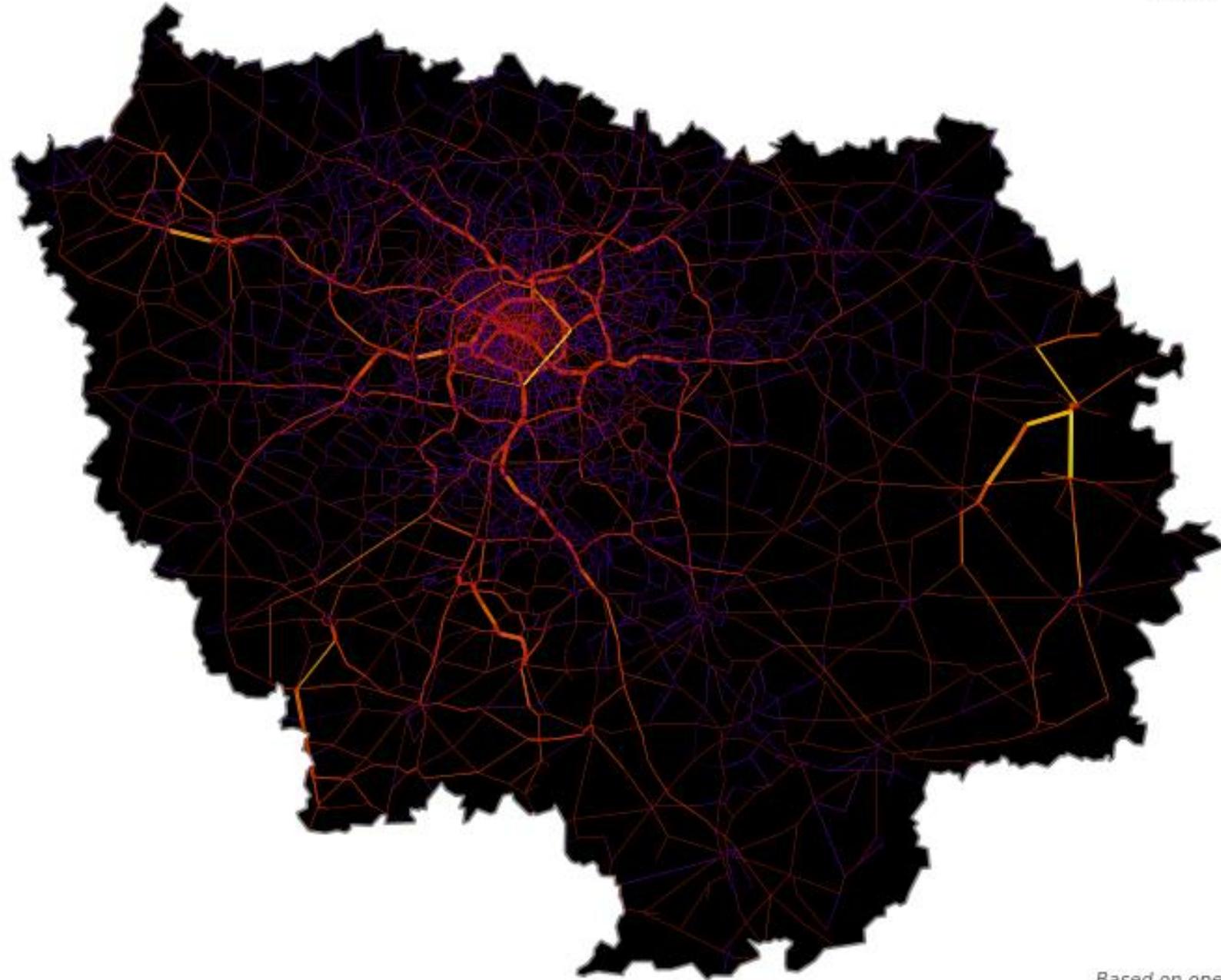
25 km



VUL

Somme des émissions journalières de Nox en g

25 km

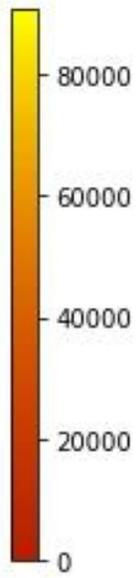
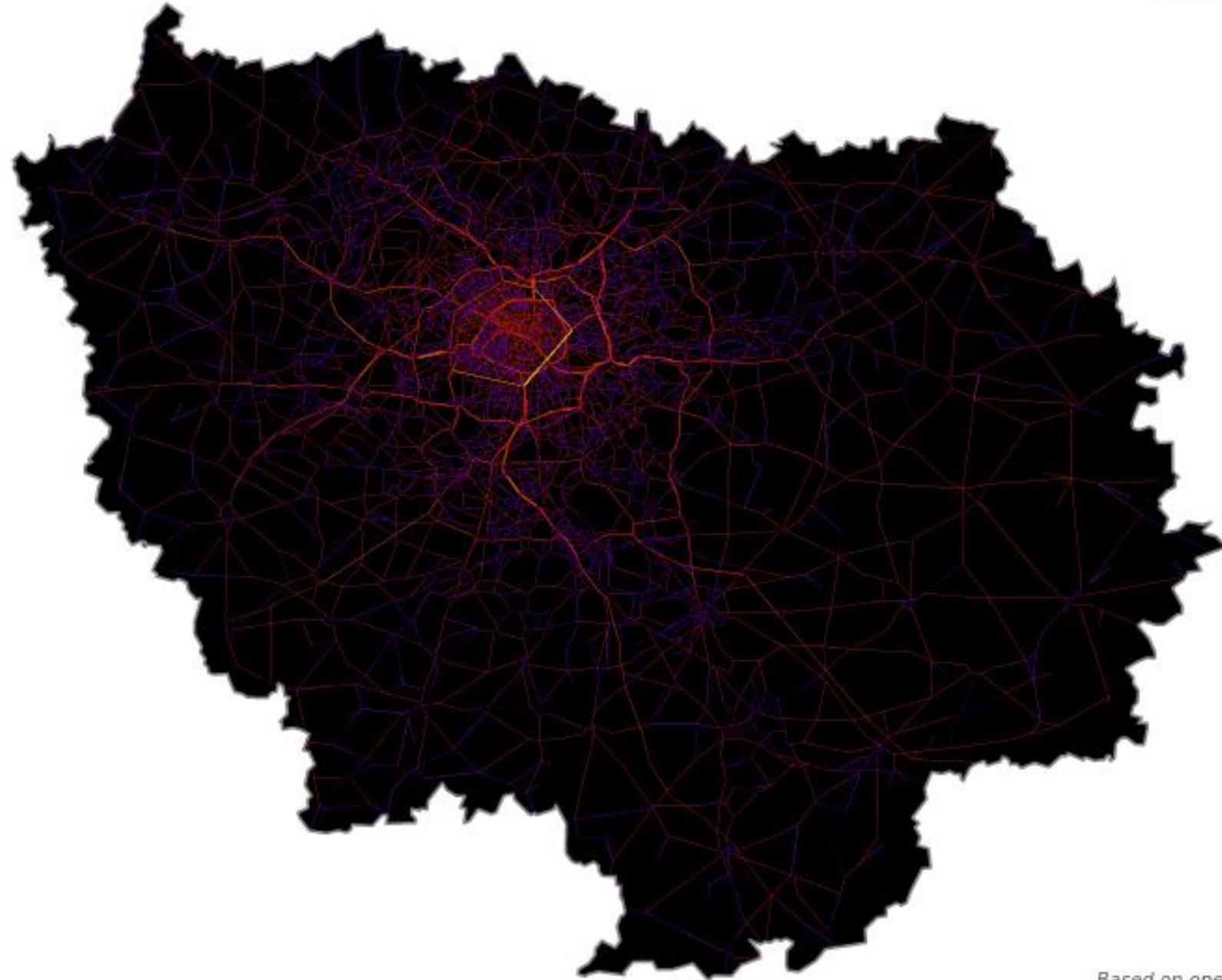


Based on open data
Arthur Elessa Etuman

PL

Somme des émissions journalières de Nox en g

25 km



▲
N

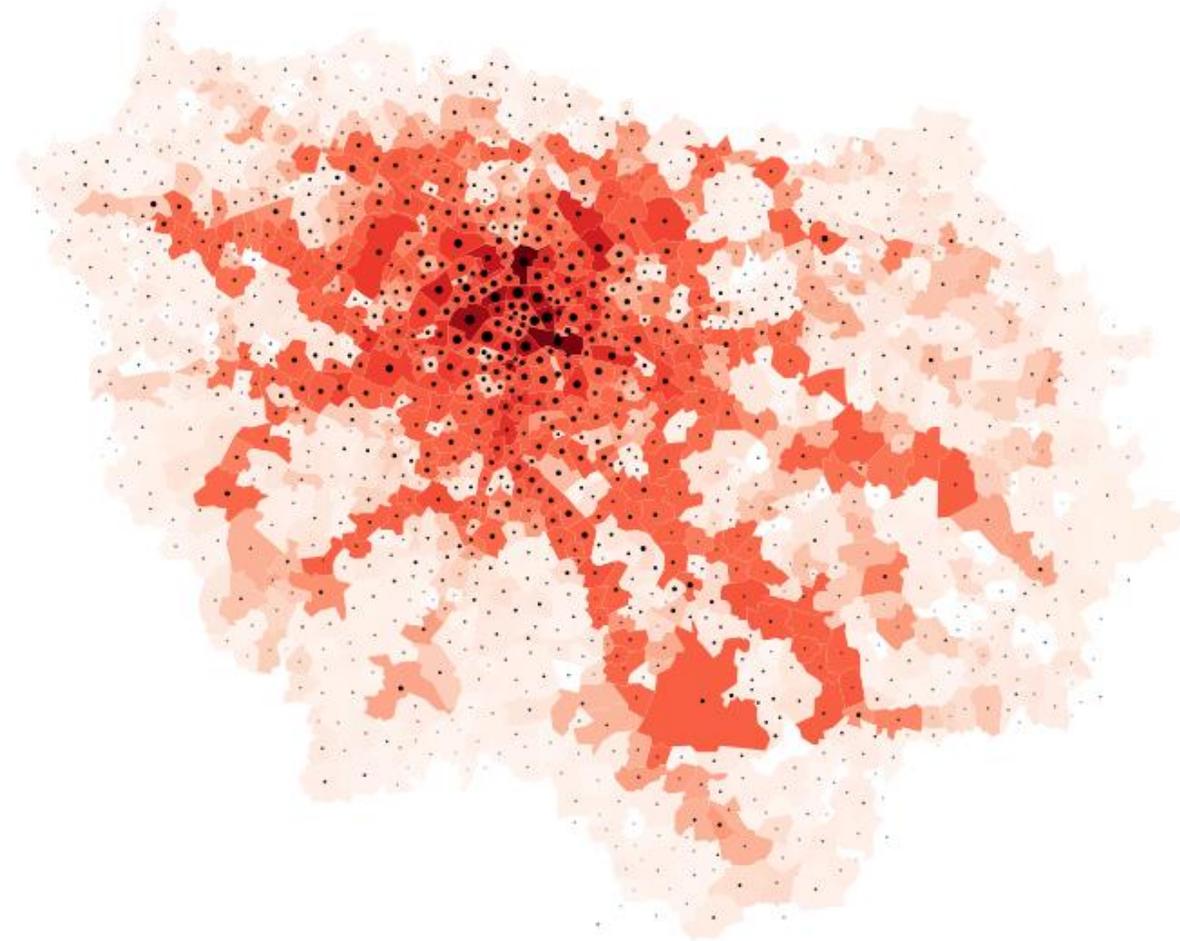
Based on open data
Arthur Elessa Etuman

Emissions et densité de population

Les émissions de PL sont dominantes sur les grands axes routiers.

Mise en relation cumul d'émissions de polluants par communes et population communales. Sans surprise, les émissions les plus importantes sont principales dans des communes fortement peuplées, il existe dans le cœur de l'agglomération des communes où les émissions de polluant du TMV sont bien plus importantes que celles des passagers.

HDV NOx emissions



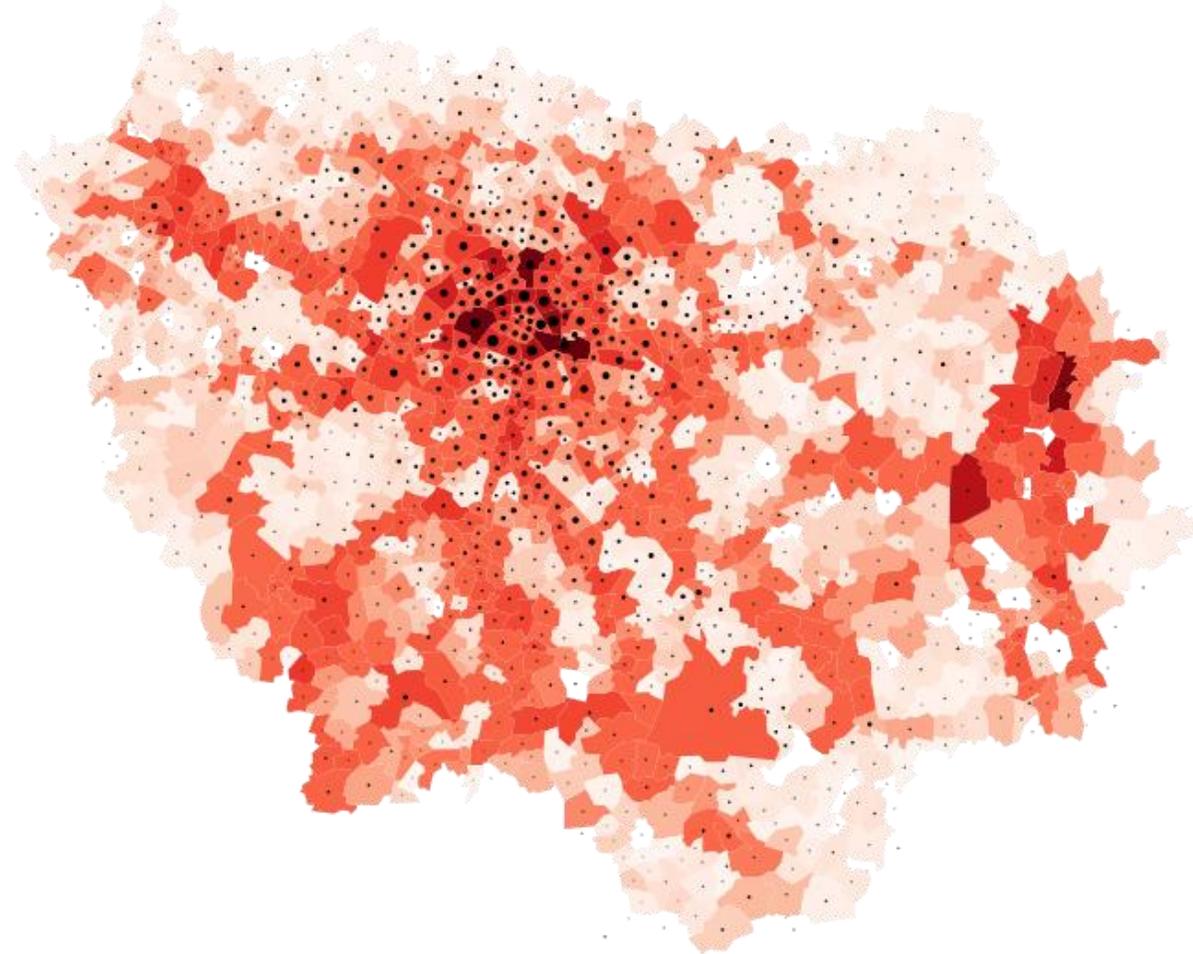
Emissions d'oxydes d'azotes par commune en fonction de leur densités de population (PL)

Emissions et densité de population

Les émissions de PL sont dominantes sur les grands axes routiers.

Mise en relation cumul d'émissions de polluants par communes et population communales. Sans surprise, les émissions les plus importantes sont principales dans des communes fortement peuplées, il existe dans le cœur de l'agglomération des communes où les émissions de polluant du TMV sont bien plus importantes que celles des passagers.

LCV NOx emissions



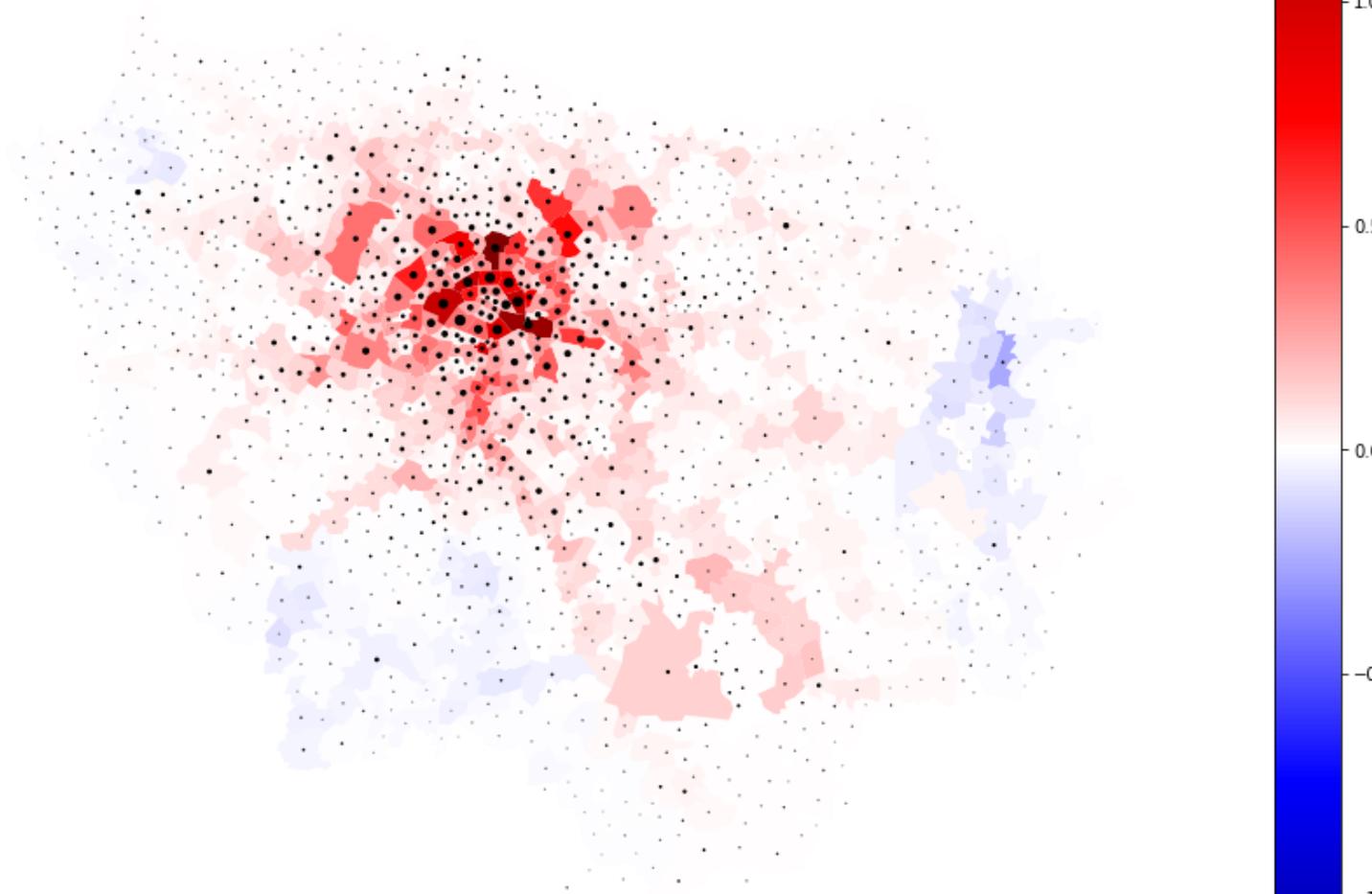
Emissions d'oxydes d'azotes par commune en fonction de leur densités de population (VUL)

Emissions et densité de population

Les émissions de PL sont dominantes sur les grands axes routiers.

Mise en relation cumul d'émissions de polluants par communes et population communales. Sans surprise, les émissions les plus importantes sont principales dans des communes fortement peuplées, il existe dans le cœur de l'agglomération des communes où les émissions de polluant du TMV sont bien plus importantes que celles des passagers.

delta NOx emissions HDV-LCV

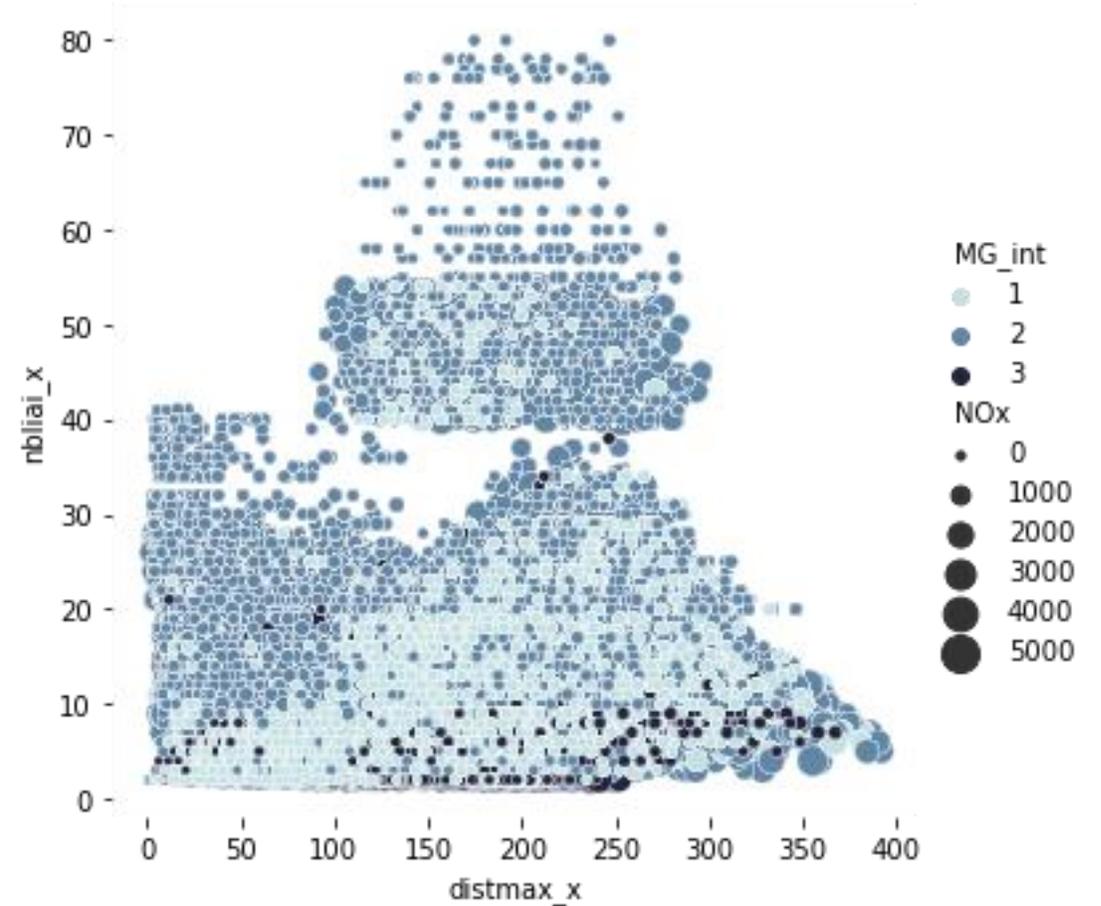


Emissions d'oxydes d'azotes par commune en fonction de leur densités de population (PL - VUL)

Emissions

Quelles sont les tournées les plus polluantes ?

La distance totale est plus impactante que le nombre de points d'arrêts

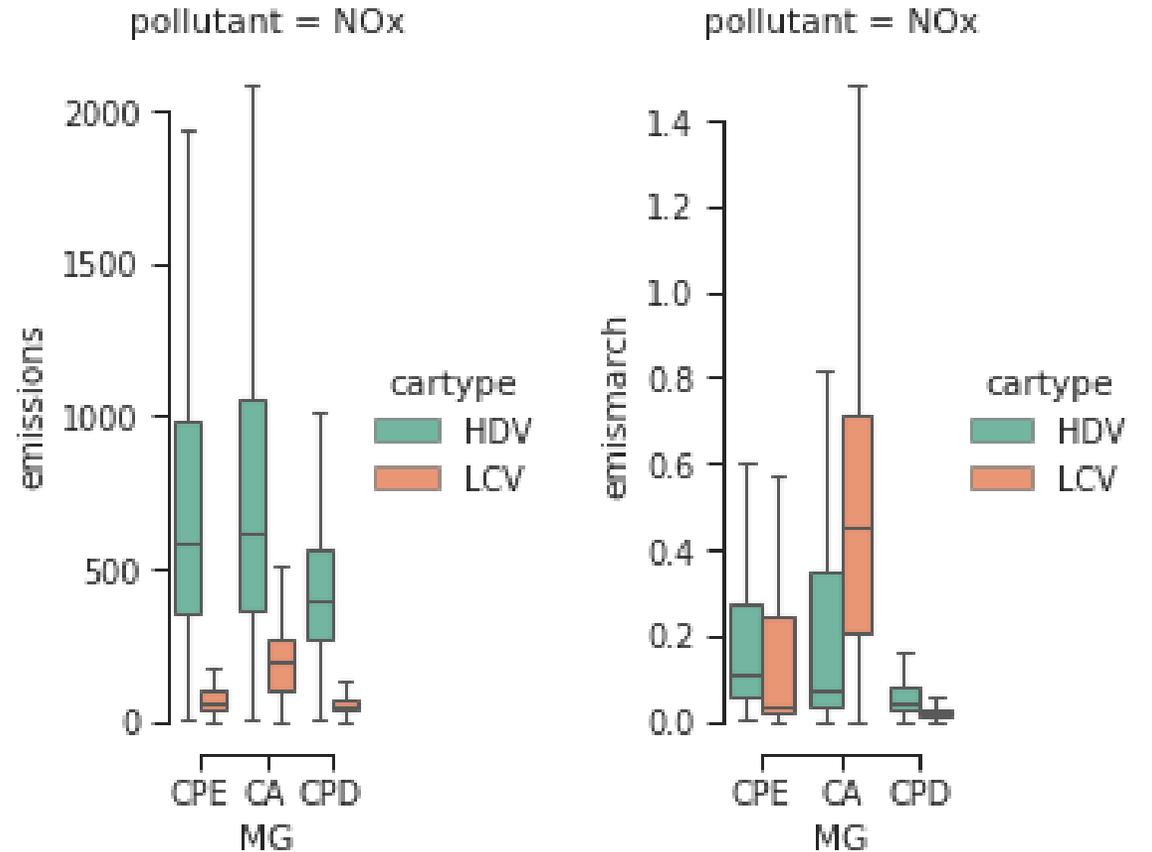


Emissions

Quelles sont les tournées les plus polluantes ?

La distance totale est plus impactante que le nombre de points d'arrêts

Les émissions par quantité de marchandises transportées sont presque équivalentes entre PL et VUL



Boxplot des émissions de polluants par mode de gestion sur une journée type. (1) Emissions par tournée, (2) Emissions par quantité de marchandise transportées.

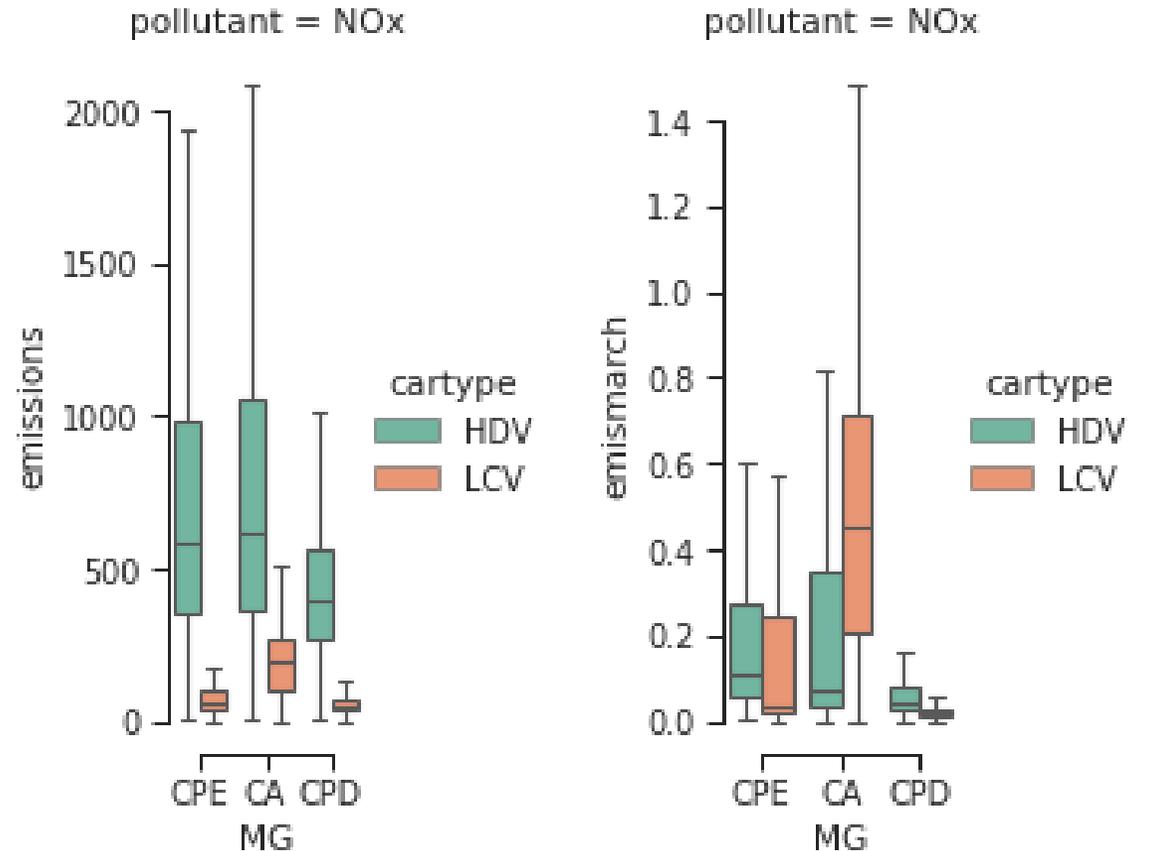
Emissions

Quelles sont les tournées les plus polluantes ?

La distance totale est plus impactante que le nombre de points d'arrêts

Les émissions par quantité de marchandises transportées sont presque équivalentes entre PL et VUL

Le mode de gestion n'est pas un forçement un déterminant (CPE, CPD, CA)



Boxplot des émissions de polluants par mode de gestion sur une journée type. (1) Emissions par tournée, (2) Emissions par quantité de marchandise transportées.

Emissions

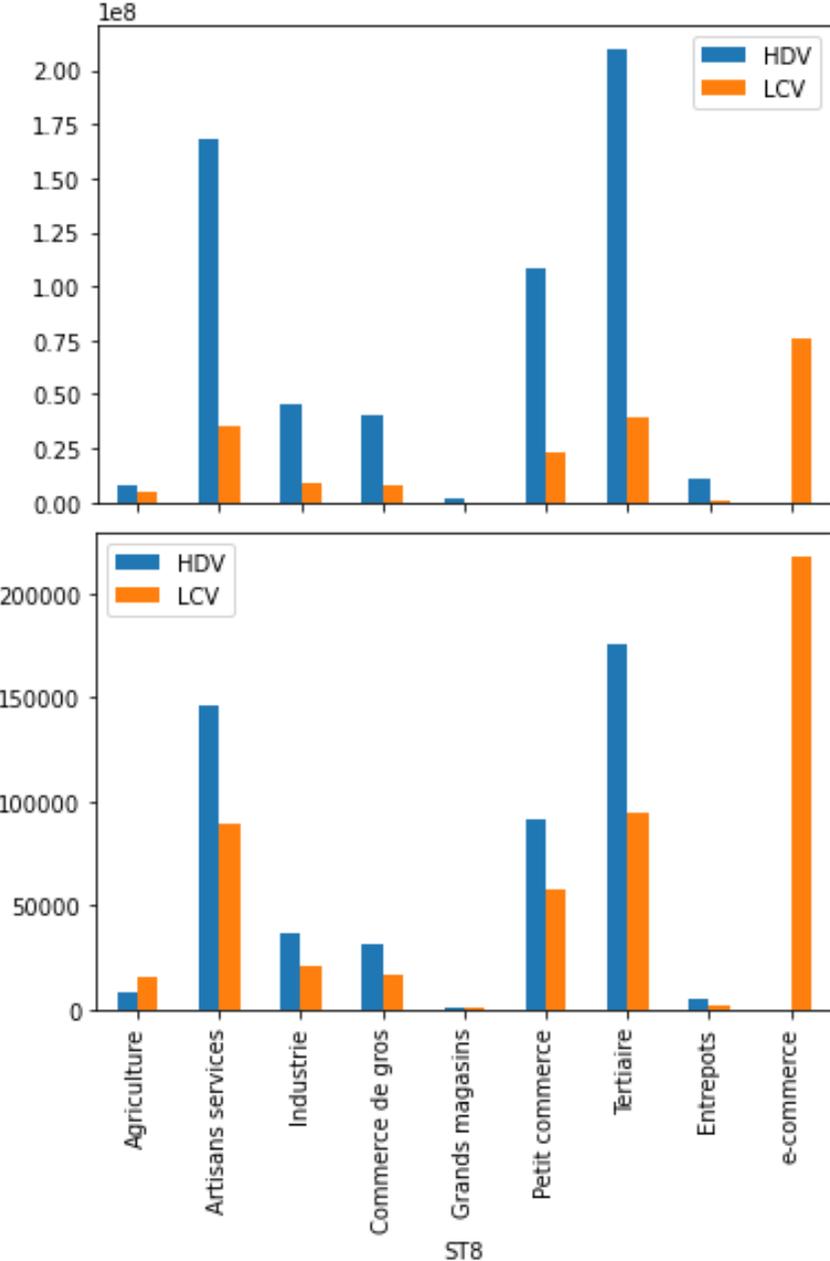
Quelles sont les tournées les plus polluantes ?

La distance totale est plus impactante que le nombre de points d'arrêts

Les émissions par quantité de marchandises transportées sont presque équivalentes entre PL et VUL

Le mode de gestion n'est pas un forcément un déterminant (CPE, CPD, CA)

Le e-commerce a une part non négligeable dans la distribution des émissions par secteur d'activité



(a) Emissions de Nox par secteur, (b) Emissions de Nox par quantité de marchandise transportée par secteur

Conclusions

Bilan

Le couplage d'Olympus avec les données de Simturb est un moyen prometteur de :

Proposer une évaluation correcte des impacts environnementaux des activités de fret.

Identifier les circuits de livraison qui peuvent faire l'objet de scénarios politiques.

Conclusions

Conception de scénarios urbains

FRET-HOR

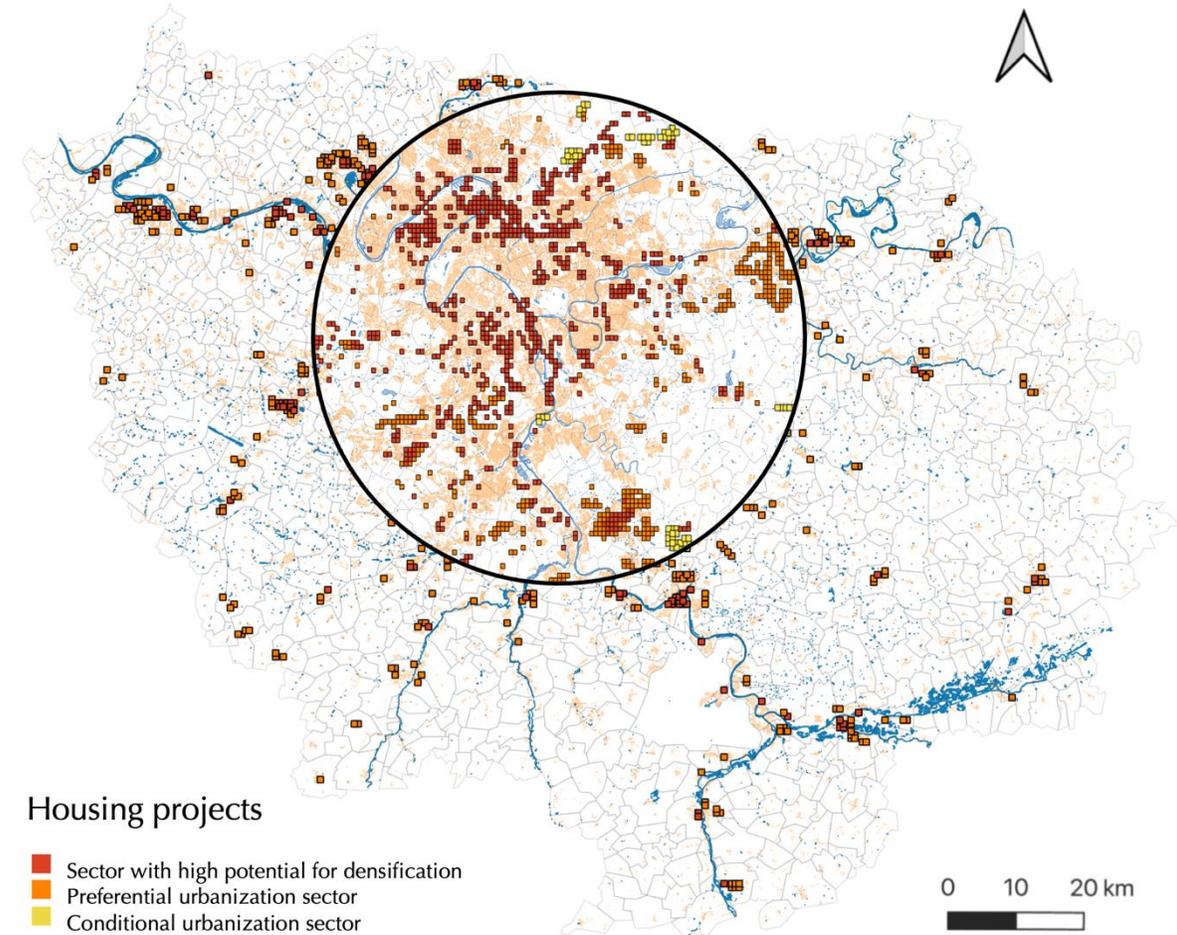
Scénario sur les horaires de livraison de marchandises

Cargo-bike

Scénario sur la modification de la flotte

Composition du parc roulant

- Caractéristiques (carburant, norme, pot catalytique)
- Situation de référence (2012)
- Scénario Techno (2030)
- Scénario sur les horaires de livraison de marchandises
- Scénarios de logistique urbaine sous le SDRIF



Points de discussion

Emissions

Démarrage à froid, évaporation, surémissions liées à la charge, pente, abrasion usure des routes, réseau routier.

Les 2-roues

Qualité de l'air

Contribution des autres secteurs, pollution de fond, apports régionaux, difficulté pour tracer *in fine* l'évolution des polluants émis par le fret.

Validation

modèles, observation, agrégé/désagrégé