



Couplage de modèles pour estimer la contribution du transport de marchandises à la dégradation de la qualité de l'air en Ile-de-France



Université
Gustave Eiffel



UNIVERSITÉ
PARIS-EST CRÉTEIL
VAL DE MARNE

Sommaire

Contexte et enjeux

- Qualité de l'air urbain
- Les enjeux de la logistique urbaine
- Modélisation du TMV

Méthodologie

- FRETURB-SIMTURB
- OLYMPUS
- Couplage

Base de données

- Mobilité
- Trafic
- Emissions

Résultats

- Trafic
- Emissions

Perspectives

Scénarios

CONTEXTE ET ENJEUX

*LA QUALITÉ DE L'AIR URBAIN
LES ENJEUX DE LA LOGISTIQUE URBAINE
NOUVELLE GÉNÉRATION D'OUTILS D'ÉVALUATION*

Contexte et enjeux

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

En Ile-de-France les véhicules Utilitaires Légers (VUL) représentent 16% du trafic routier et les Poids Lourds (PL) 5%. (Airparif, 2019)

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 .



Contexte et enjeux

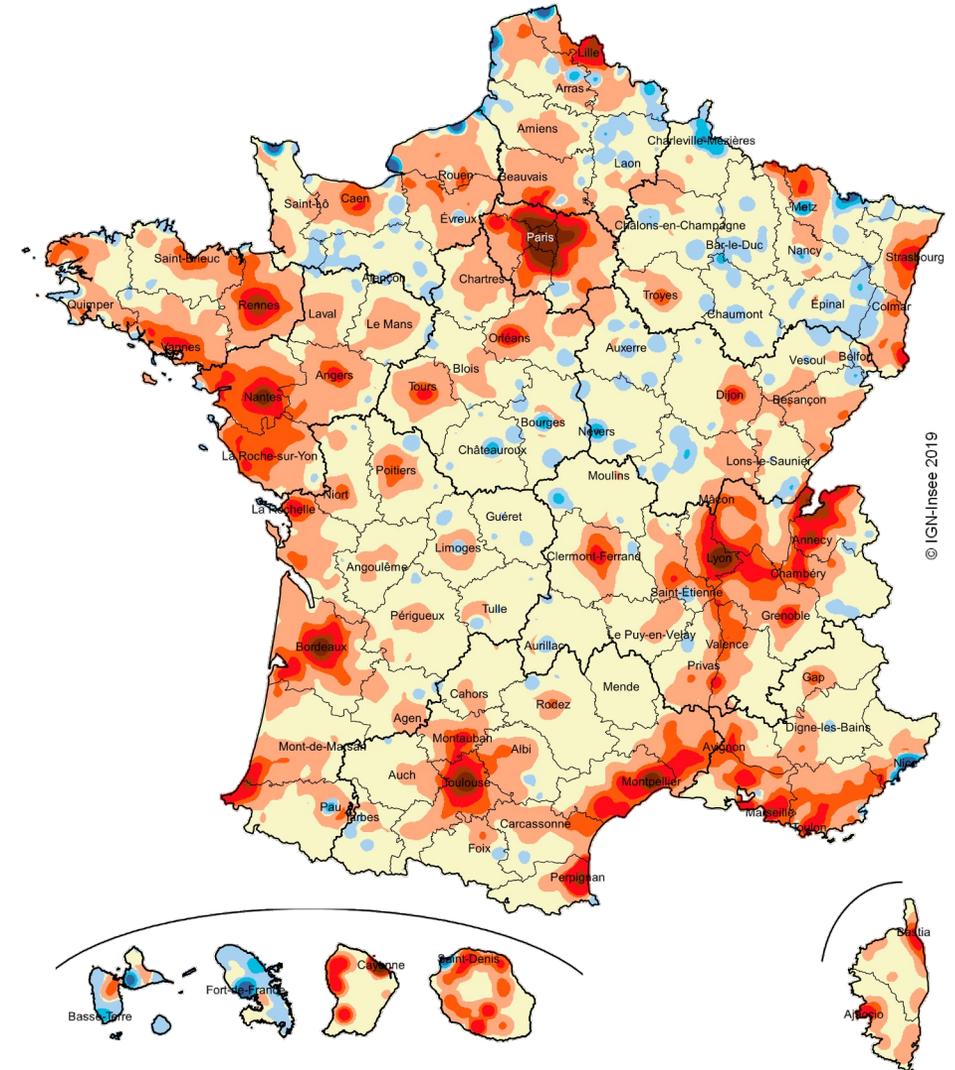
Les enjeux de la logistique urbaine

Croissance démographique

Étant donné l'augmentation de la population et la croissance économique dans les zones urbaines, la congestion a également augmenté dans presque tous les modes de transport, mais c'est dans le domaine du transport de marchandises en ville (TMV) que la congestion est un problème particulier étant donné l'augmentation de la demande de livraison de biens et de fournitures.

Le cas de l'Île-de-France

- Chaque jour le nombre de livraisons frôle le million en Île-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](#))
- En 1965, 150 milliards de tonnes-kilomètres étaient échangés en France. Ce chiffre a atteint les 358 milliards en 2011 ([CERTU](#))



Variation annuelle de la densité de population entre 2007 et 2017 en France ([Insee](#))

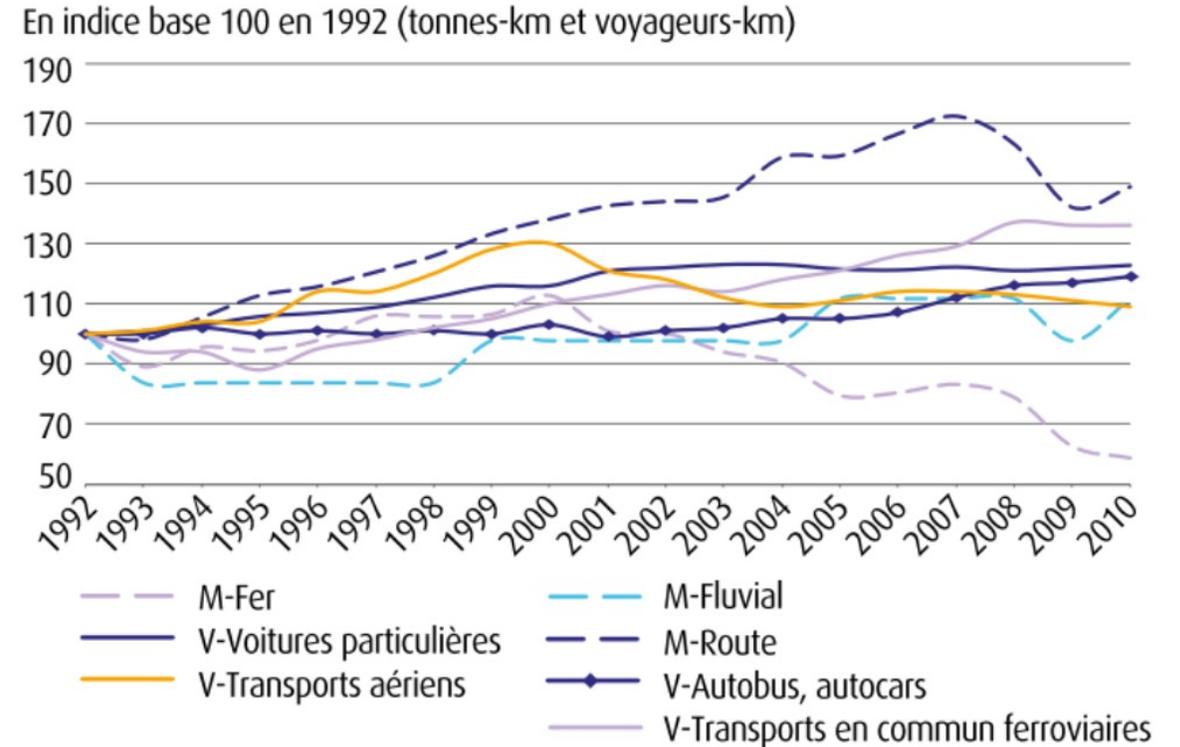
Contexte et enjeux

Les enjeux de la logistique urbaine

Quel mode de transport pour le TMV ?

Le mode routier représente environ 88% du fret de marchandises en France.

50% du gazole consommé en ville par les transports urbains l'est pour le transport de marchandises.



Evolution des transports intérieurs de marchandise (M) et de voyageurs (V) par mode (SOEs)

Contexte et enjeux

Les enjeux de la logistique urbaine

Quel mode de transport pour le TMV ?

Le mode routier représente environ 88% du fret de marchandises en France.

50% du gazole consommé en ville par les transports urbains l'est pour le transport de marchandises.

enjeux autour de la logistiques urbaine

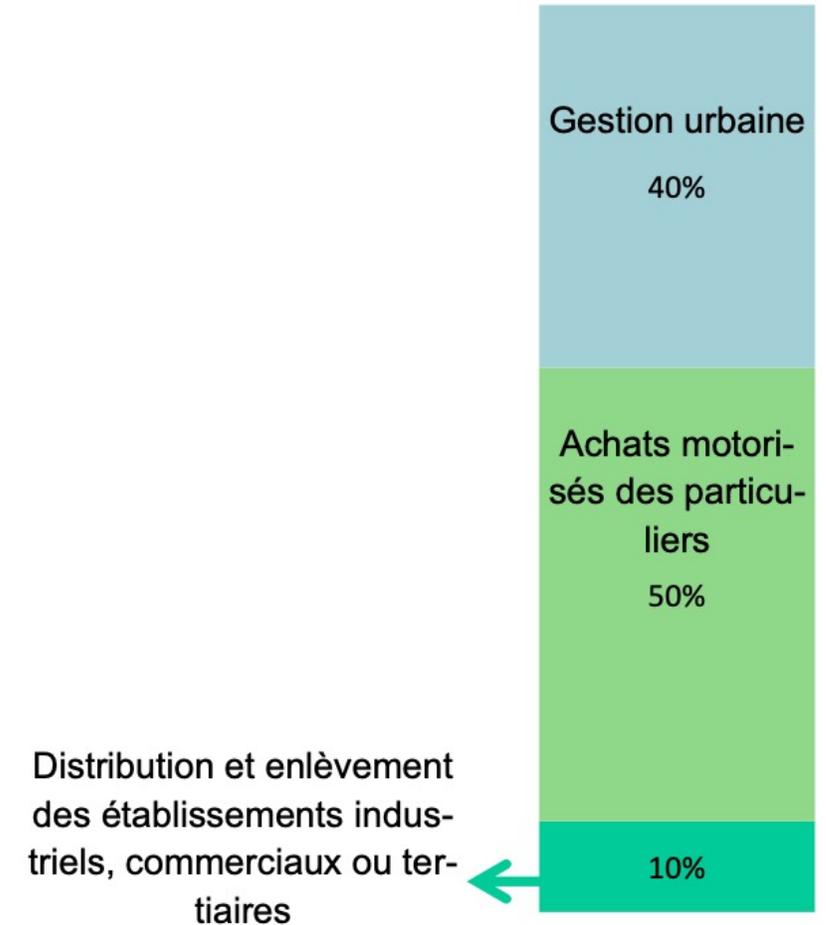
Achats de particuliers représentent plus de 50% du trafic de marchandise en ville

Explosion du e-commerce (X5 sur la période 2005-2012)

S'adapter aux mutations

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)).



Distribution en véhicules.kilomètre des activités liées au transport de marchandise en ville (LET, 2001)

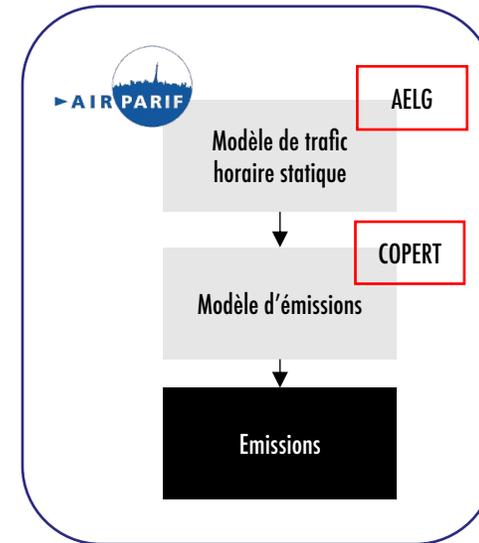
Contexte et enjeux

Modélisation des émissions routières liées au TMV en Ile de France.

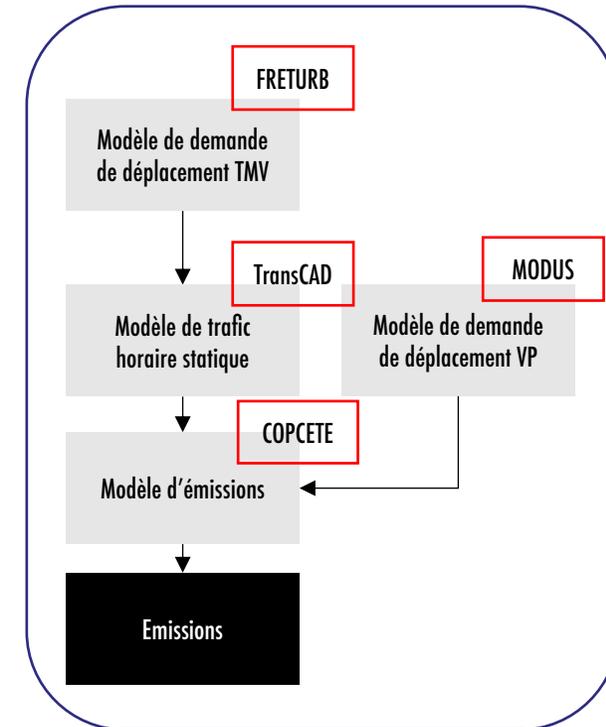
Dans ce contexte, il y a eu un effort urgent pour développer des outils d'évaluation appropriés. En outre, comme le TMV est un système complexe dans lequel diverses parties prenantes interagissent et où il existe des intérêts économiques individuels, ces outils d'évaluation devraient être mis au point :

- caractériser et évaluer globalement le système TMV afin d'étudier l'interaction entre les différentes composantes, être applicables et transférables à d'autres cas où une solide compréhension du contexte est présente.
- Considérer que certains facteurs de productivité, tels que la maximisation de l'efficacité de la production, sont l'objectif ultime de presque toutes les parties prenantes.

(Muñoz-Villamizar et al., 2018).



Modèle d'émissions HEAVEN (AirParif)



Chaîne de modélisation (Coulombel et al.)

MÉTHODOLOGIE

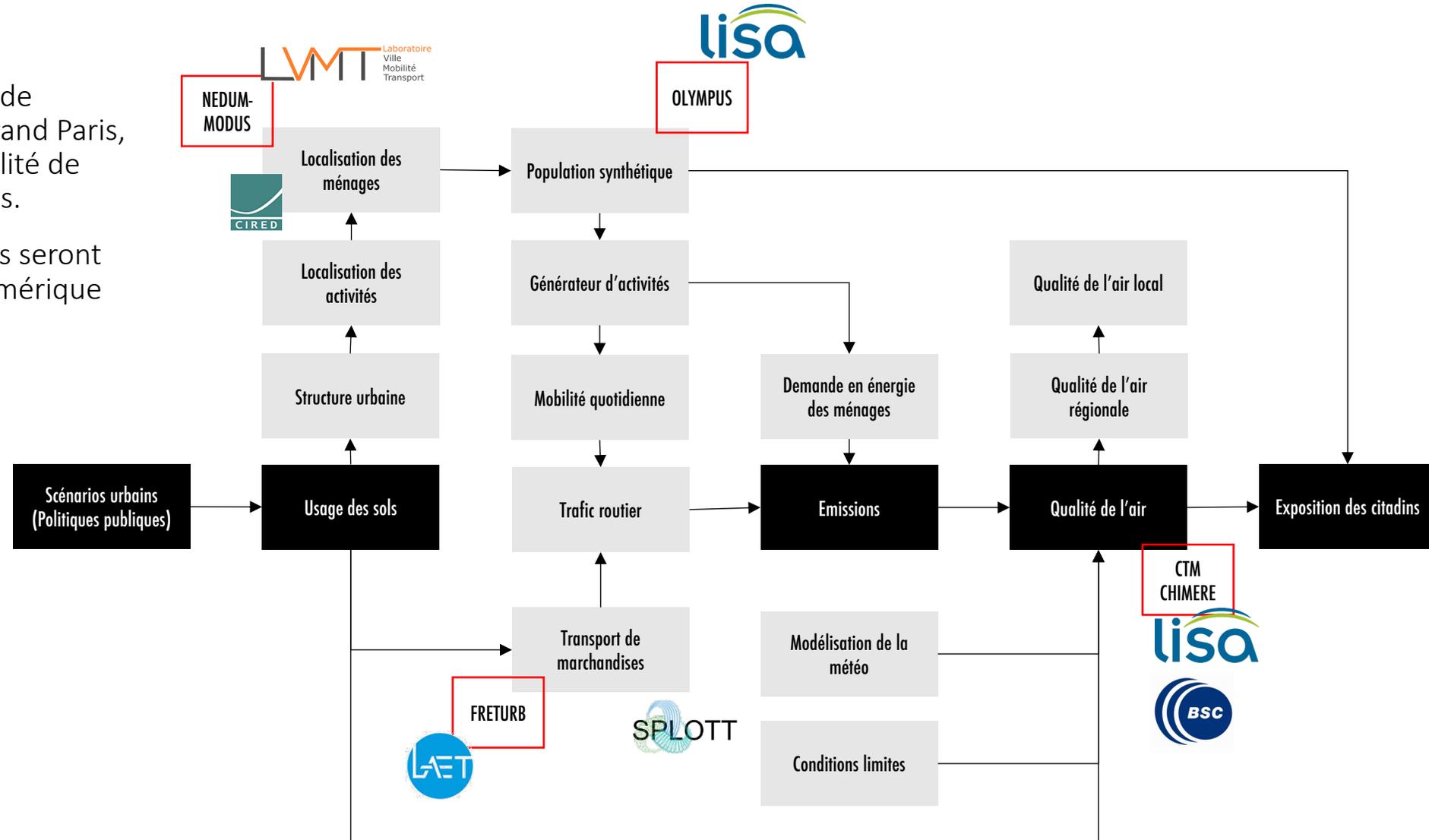
PROJET POLL-EXPO
FRETURB-SIMTURB
OLYMPUS
COUPLAGE DES MODELES

Méthodologie

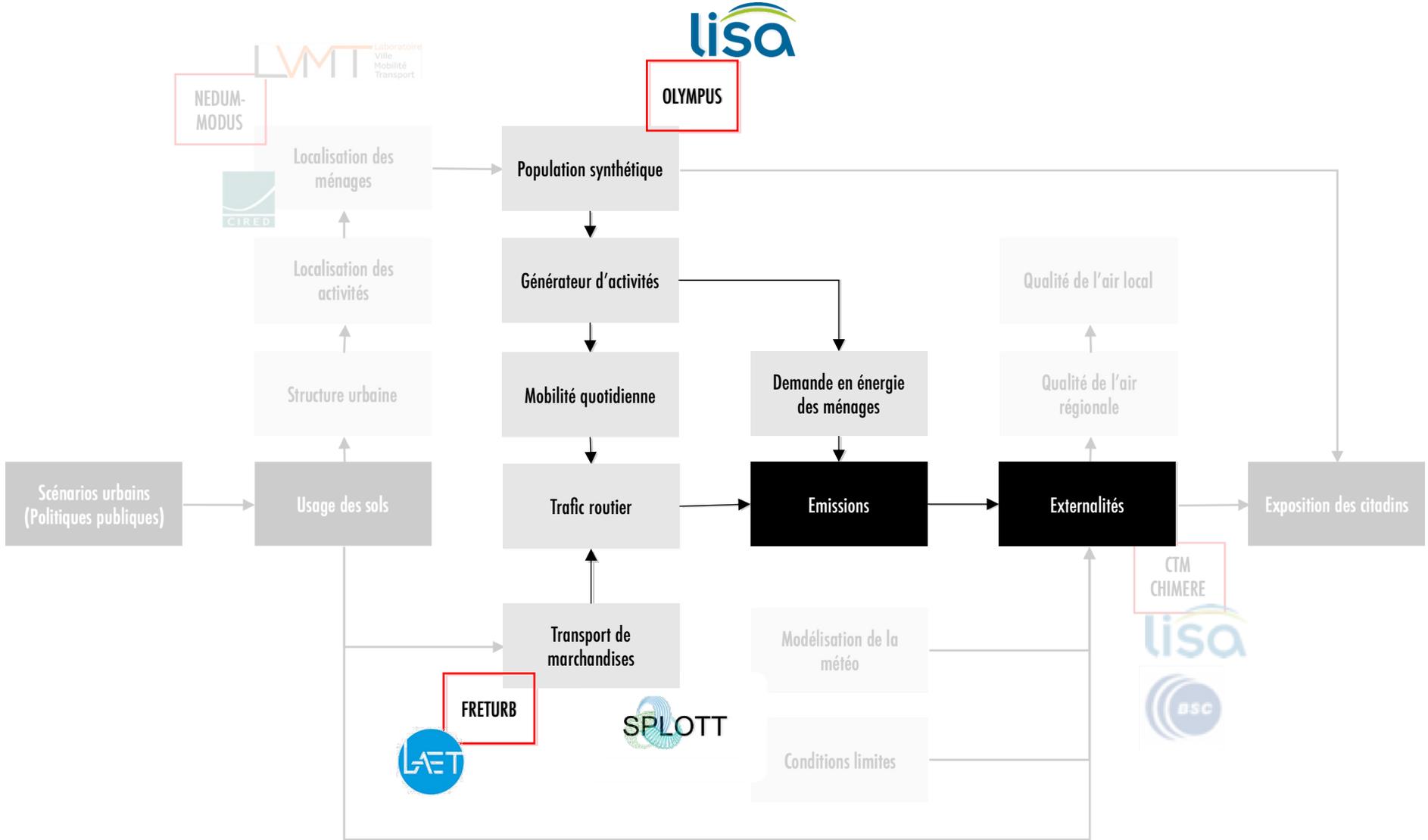
POLL-EXPO

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



Méthodologie



Développement d'une plateforme de modélisation numérique

OLYMPUS

OLYMPUS-FRETURB

Simulation de la mobilité

- Estimation de la population de l'IDF
- Emploi du temps de la population

Simulation de la demande de mouvements

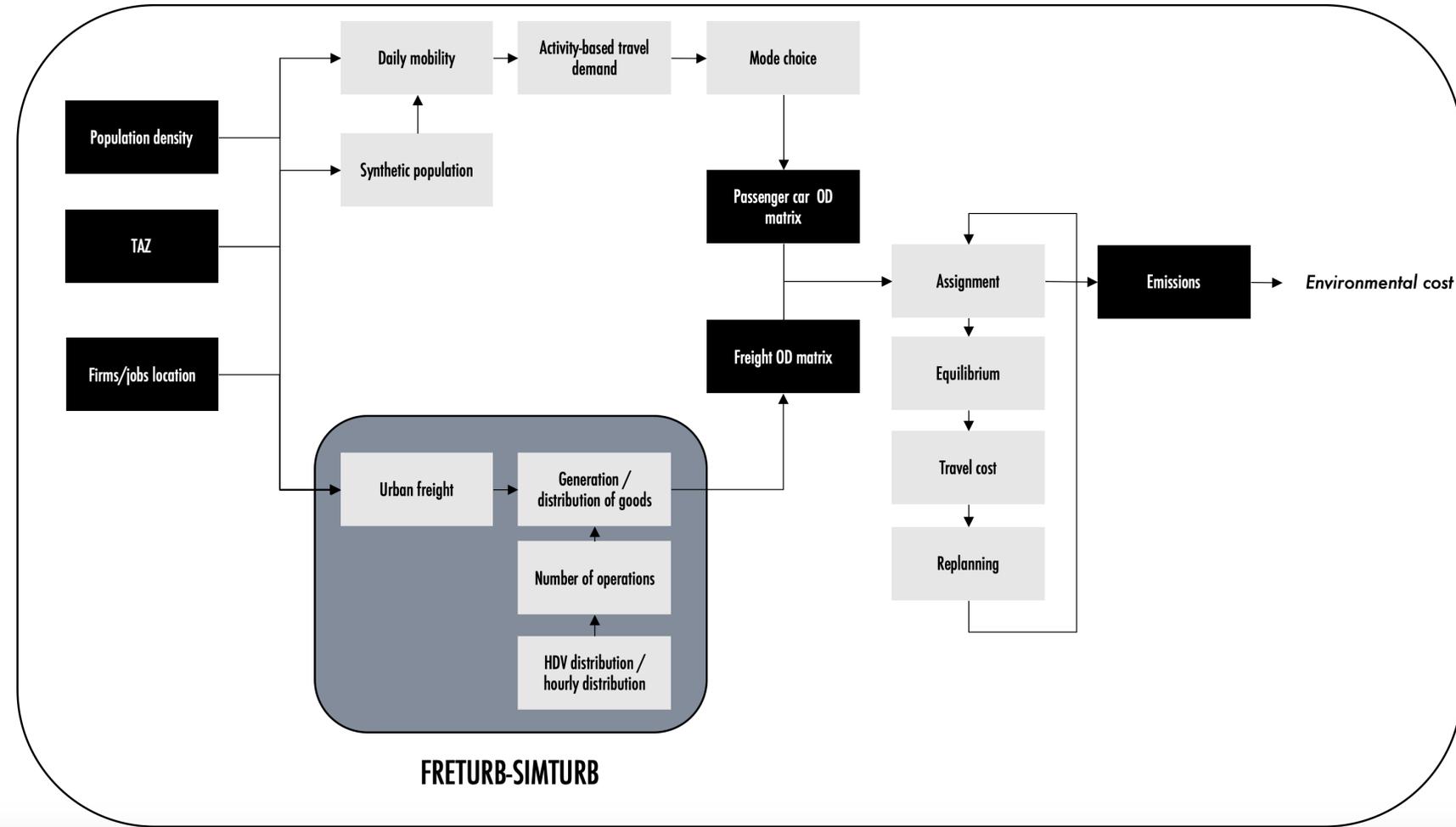
- Estimation des flux de marchandises

Simulation du trafic routier

- Calcul d'itinéraires (Dijkstra)
- Affectation ajustée

Calcul des émissions de polluants

- Composition du parc
- Cumul émissions à l'échappement (chaud et à froid)
- Emissions à l'évaporation
- Emissions liées à l'abrasion



Schématisation du couplage FRETURB-SIMTURB-OLYMPUS dans le cadre du projet POLL-EXPO

FRETURB-SIMTURB

FRETURB-SIMTURB

Objectifs : Modélisation des mouvements générés par les entreprises
en zone urbaine et caractérisation des tournées par chauffeur

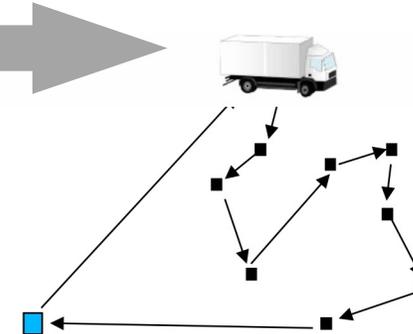


FRETURB

Mouvements de marchandises

SIMTURB

tournées de livraison



FRETURB

Modèle FRETURB

Méthodologie

Affectation des établissements à une catégorie

Estimation du nombre d'opérations

Affectation des opérations à un comportement logistique

Estimation du temps de stationnement

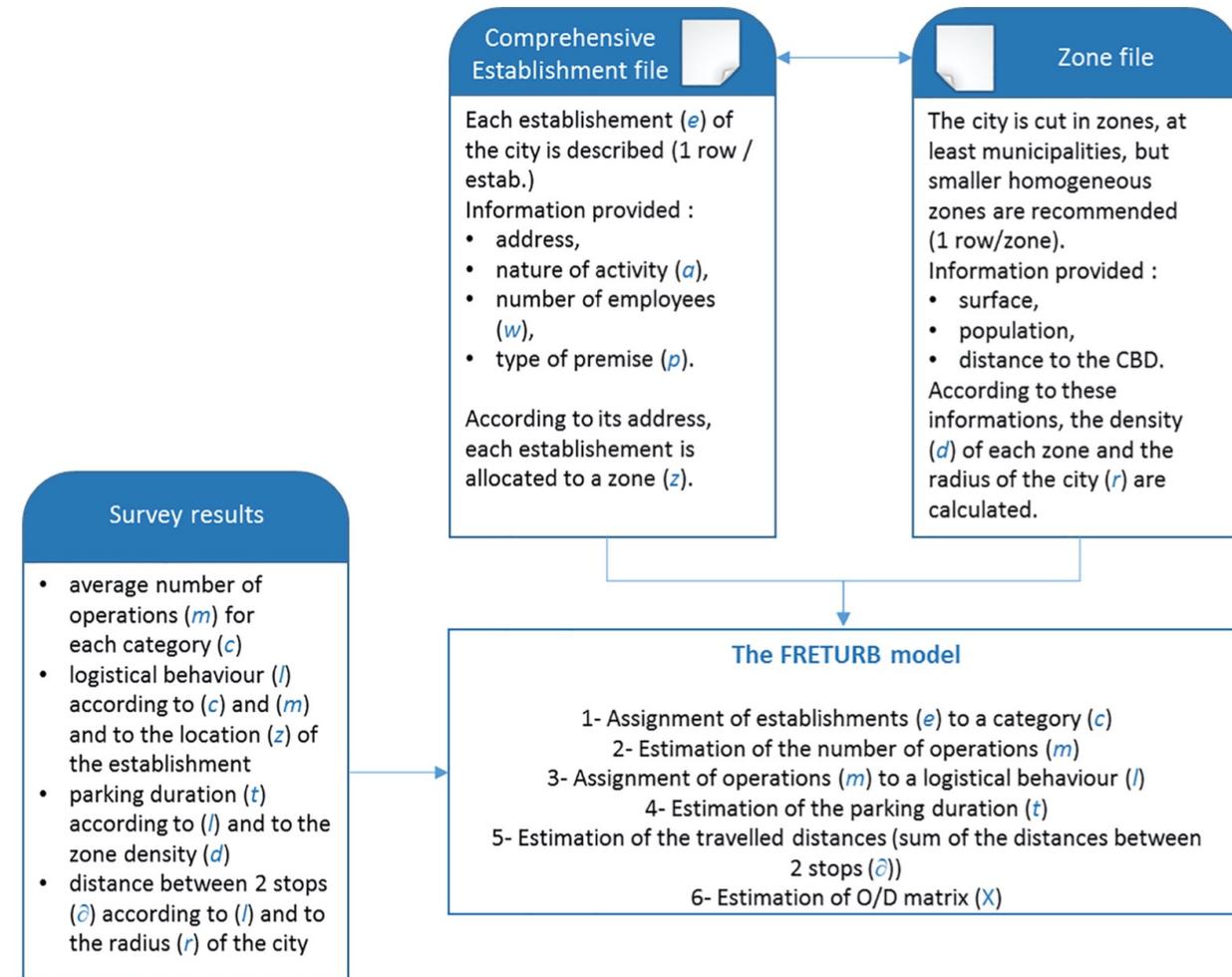
Estimation des distances parcourues entre 2 points d'arrêt.

Estimation des matrices origine-destination

Données produites

Une matrice OD ventilée par type de véhicule et selon 3 plages horaires (HPM : 7h – 9h , HPS : 17h – 19h , HC : le reste du temps)

Classification des mouvements (CA, CP, type de véhicule, plage horaire)



SIMTURB

Modèle SIMTURB

Objectifs

Simuler une reconstitution des tournées de livraison dans l'aire urbaine en respectant : (1) La répartition des mouvements par type de véhicule, mode d'organisation et taille de tournée. (2) La distribution des mouvements. (3) Les distances moyennes entre 2 arrêts. (4) La localisation des établissements livrés. (5) Les heures de départs des tournées

Inputs

Matrice OD produit par FRETURB

Liste des établissements géolocalisés avec nombre de mouvements générés

Autres tables FRETURB (durée des livraisons,...)

Données produites

Type de porteur

Nombre d'arrêts

Heures de livraisons

Kilomètres parcourus

SIMTURB

Modèle SIMTURB

Méthodologie

Importation des bases de données FRETURB

Désagrégation des données FRETURB

Génération de matrice origine-destination

- Chaîne de Markov

Affectation des mouvements à un type d'activité ST8

Kilomètres parcourus

- Distance à vol d'oiseau pondérées

Optimisation des tournées

- Autour d'une distance moyenne

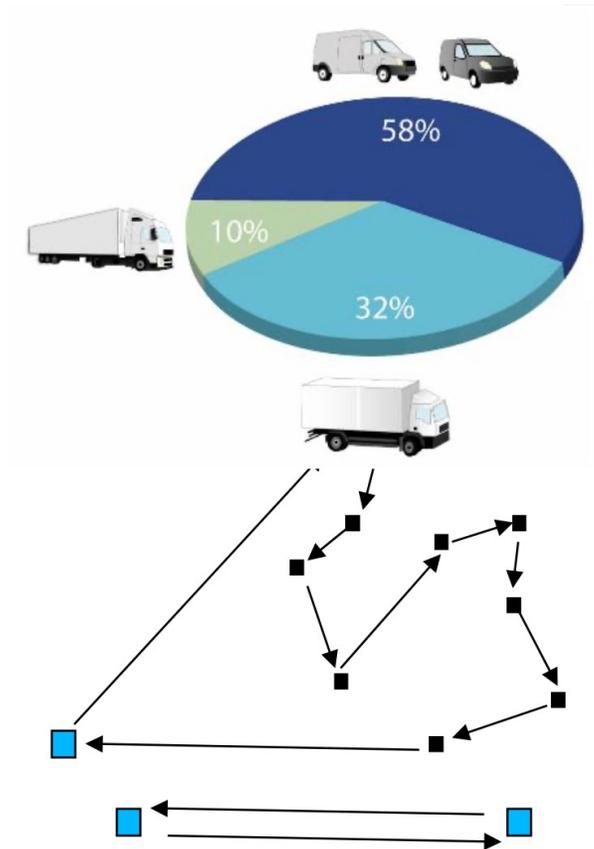


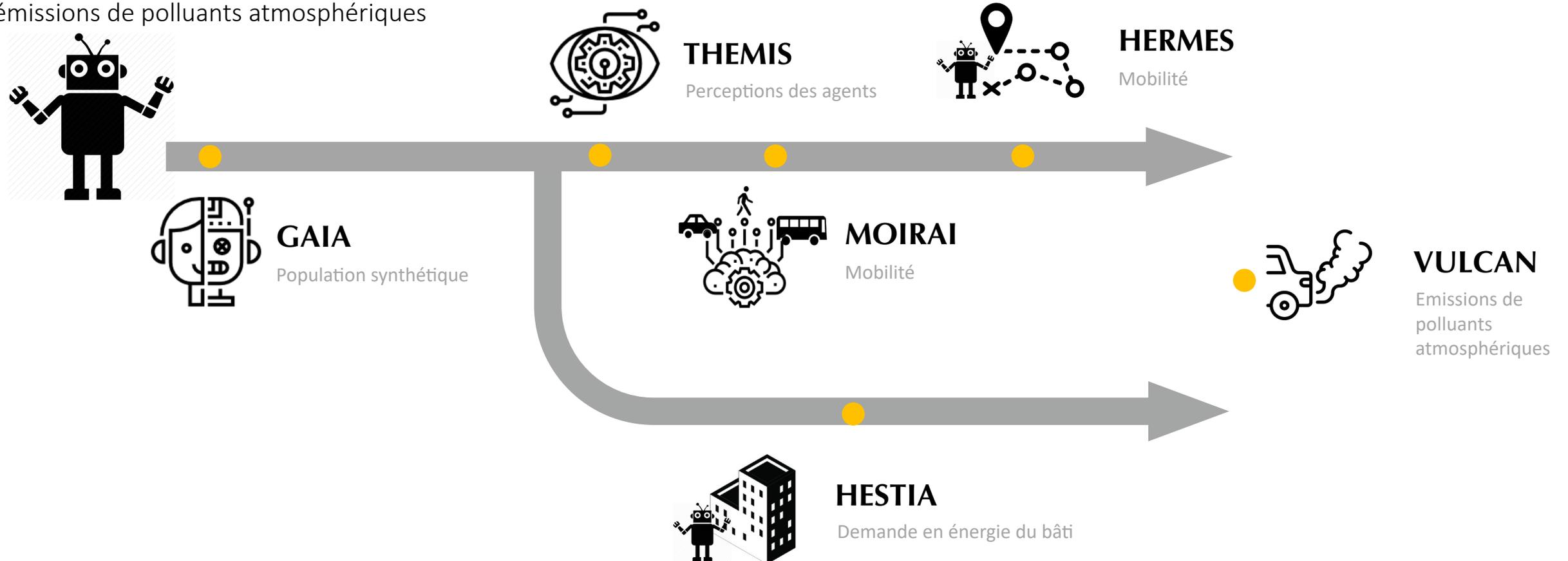
Schéma simplifié des principales sorties du modèle SIMTURB

OLYMPUS

OLYMPUS

SMA - Couplage de 6 modèles en 1

Objectifs : Modélisation des impacts de politiques urbaines sur les émissions de polluants atmosphériques



OLYMPUS - Population synthétique



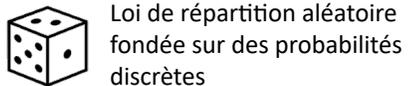
Génération de la population synthétique

Intégration des attributs des agents dans la mobilité et les consommations d'énergie

- Génération d'une population synthétique basée sur la densité de la population
- Production de données caractéristiques des agents de la population

GAIA, basé sur les probabilités conditionnelles.

Recensement de population détaillé (commune)



Probabilités conditionnelles
Reconstitution de la population synthétique à partir de l'échantillon de population



Création d'agents de la population

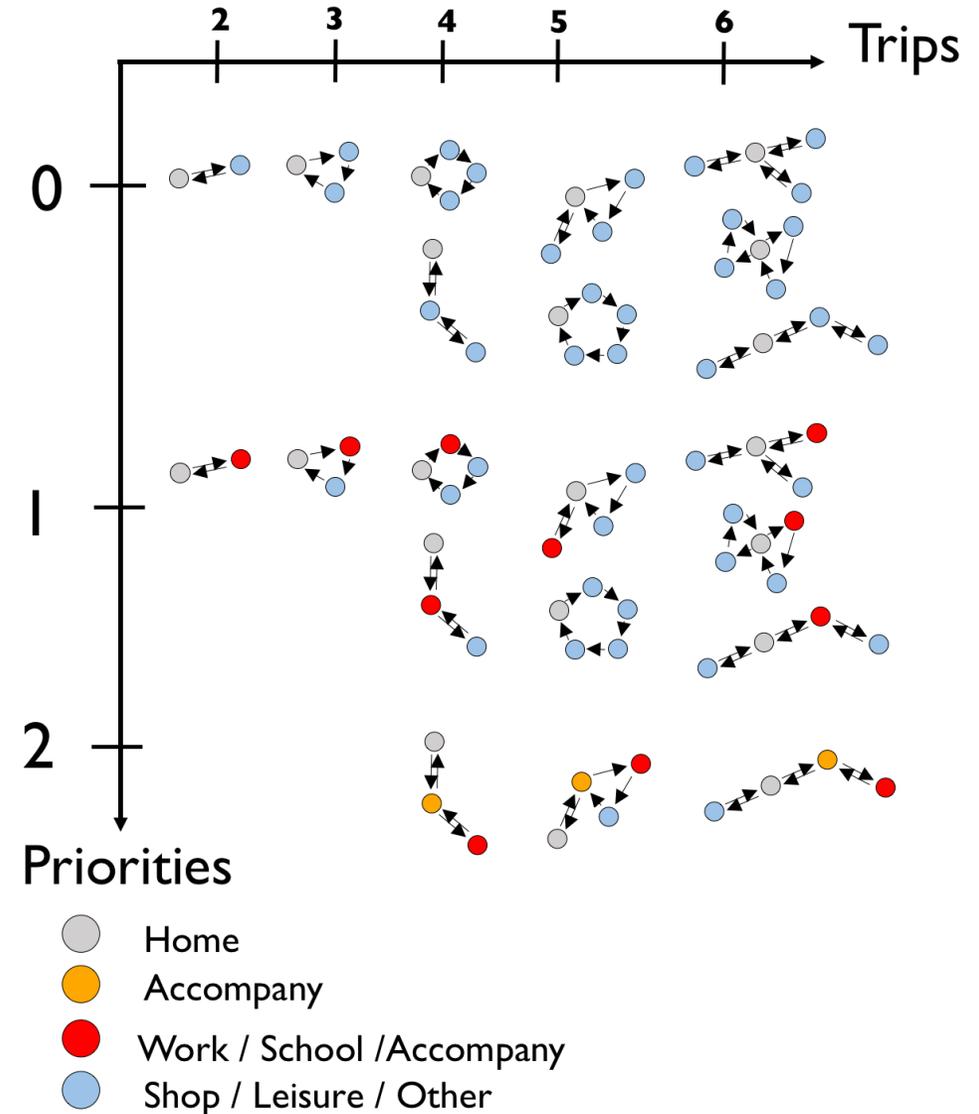
OLYMPUS - Mobilité



Générateur d'emploi du temps des agents de la population synthétique

Mobilité des agents basée sur l'activité

- Génération des activités
- Choix modal
- Durée de l'activité



OLYMPUS - Mobilité



Générateur d'emploi du temps des agents de la population synthétique

Mobilité des agents basée sur l'activité

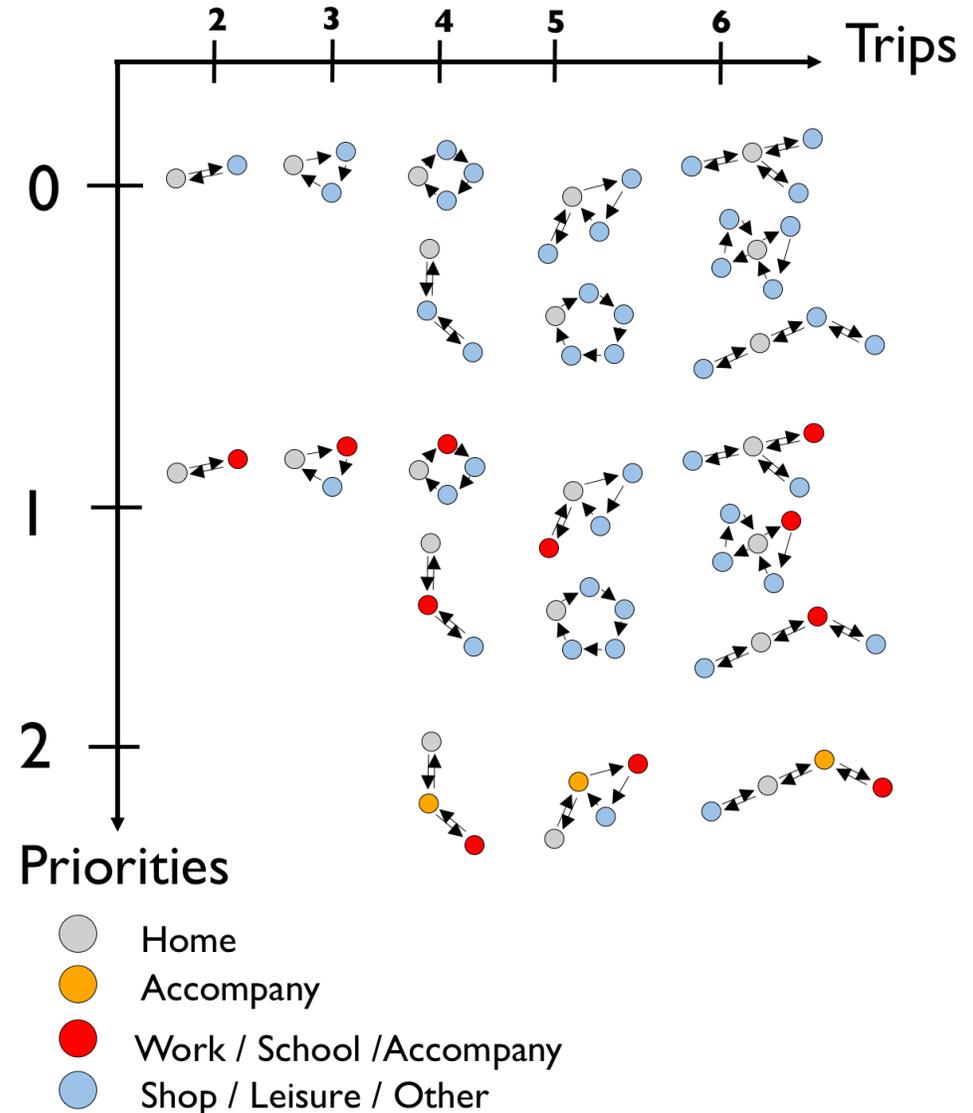
- Génération des activités
- Choix modal
- Durée de l'activité

Théorie de l'utilité aléatoire

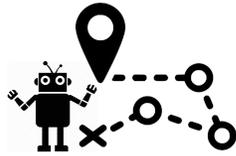
- Approche probabiliste
- Rationalité des décisions des agents
- Possibilité de différences entre les préférences individuelles.

Utilité = $f(\text{coût du temps, mode, pénalités})$

- Coût du transport (prix du carburant, maintenance, parking, péage, prix ticket)
- Valeur du temps de transport



OLYMPUS - Mobilité



HERMES

Mobilité

Spatialisation de la demande de transport routier

Modélisation des itinéraires routiers

- Affectation de la mobilité VP sur le réseau routier principal

Théorie des graphes

- Chemin le plus court, $f(V)$

Autres flux

- Estimation du transport de marchandise
- Transport inter-régional non modélisé

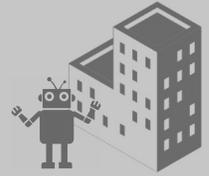
Estimation de la flotte régionale

- VP/VUL/PL/2-roues

Congestion routière

- Courbes débit-vitesse (J. Ortúzar et al.)
- Equilibre de wardrop

OLYMPUS - Demande en énergie du bâti



HESTIA

Demande en énergie du bâti

Modélisation de la demande énergétique des bâtiments
pour intégration de politiques énergétiques

Secteur résidentiel

Secteur tertiaire/ institutionnel

Approche hybride

prise en compte de la surface, âge des bâtiments, zone urbaine,
correction climatique (DJU)



OLYMPUS - Emissions de polluants atmosphériques



VULCAN

Emissions de polluants atmosphériques

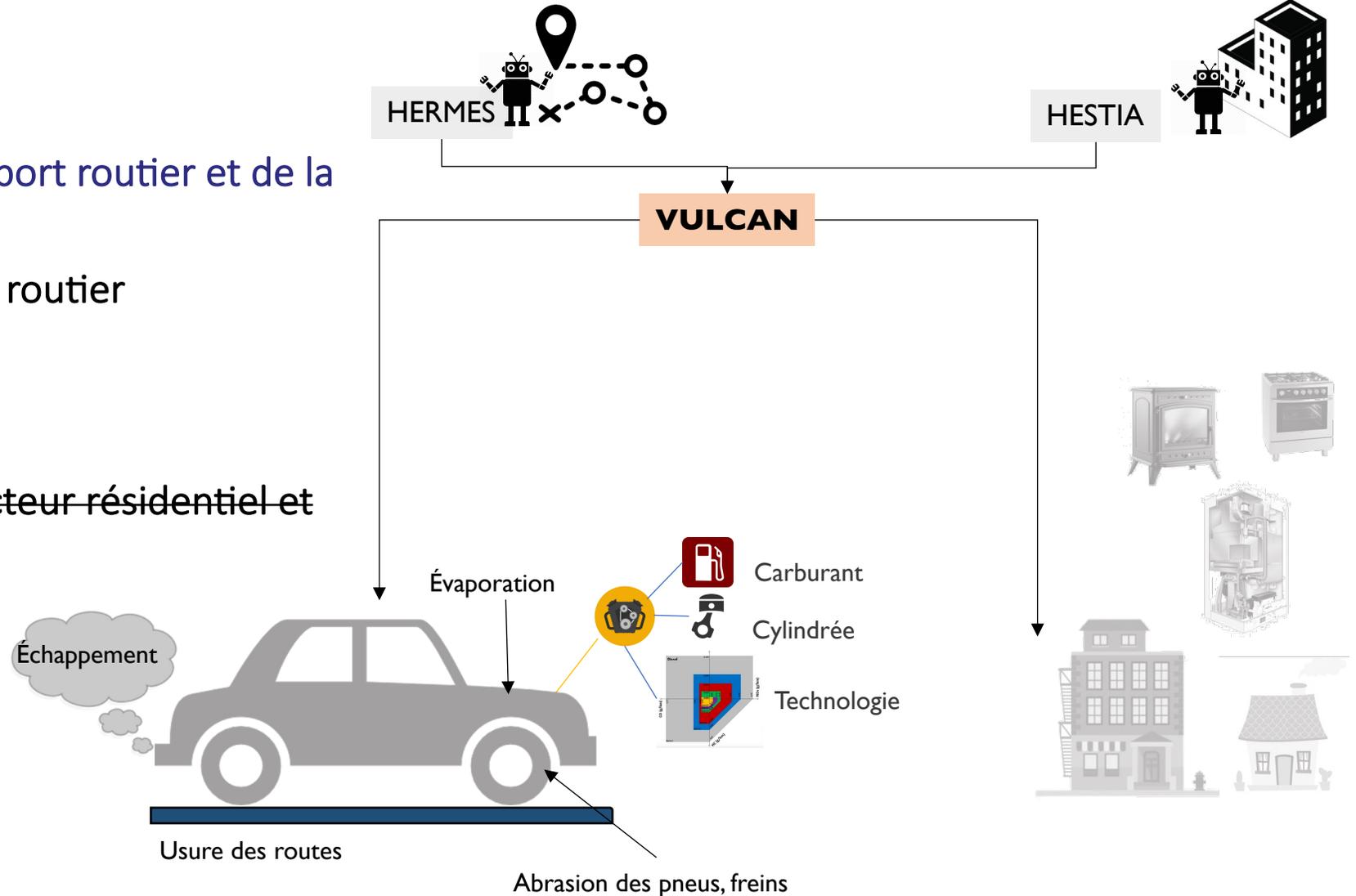
Modélisation des émissions du transport routier et de la petite combustion

Modélisation émissions du transport routier

- Émissions à l'échappement
- Abrasion
- Évaporation

Modélisation combustion dans le secteur résidentiel et tertiaire

- Poêles, cheminées
- Chaudières
- Cuisine



Couplage OLYMPUS-SIMTURB

Couplage de modèles

Modélisation du changement d'itinéraires (fonction de la congestion routière)

Méthodologie

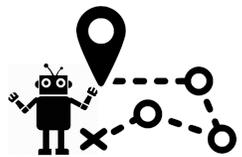
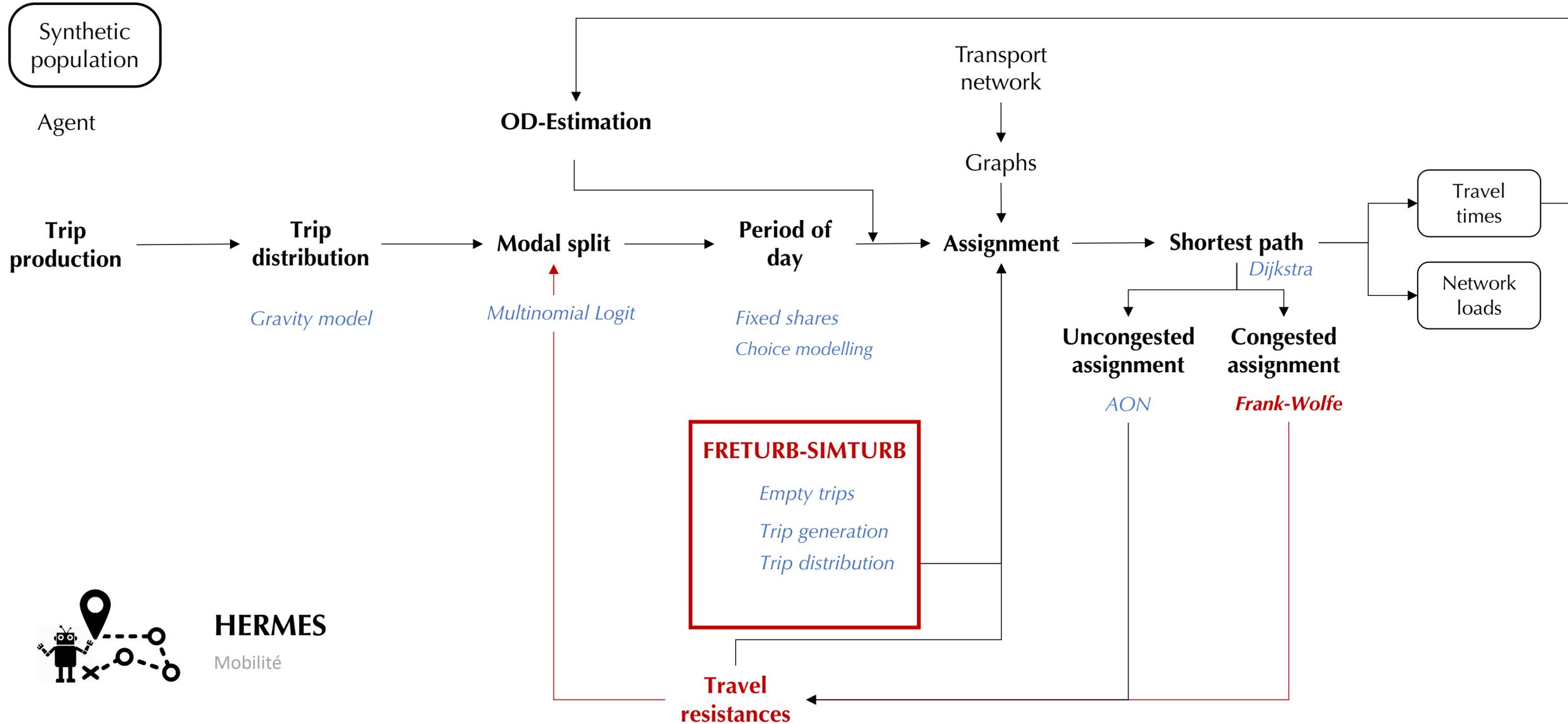
Implémentation des matrices origine-destination du transport de marchandises dans le modèle de trafic de OLYMPUS (HERMES)

Affectation de l'ensemble des matrices de déplacement (véhicules particuliers et TMV)

Recherche d'équilibre (Nash)

- Modification des choix d'itinéraires
- Pas de modification de l'agenda du chauffeur

Couplage OLYMPUS-SIMTURB



BASE DE DONNÉES

GÉNÉRATION DE LA POPULATION SYNTHÉTIQUE

DEMANDE DE MOBILITÉ

MOUVEMENTS DE MARCHANDISES

TRAFIC

EMISSIONS

FRETURB-SIMTURB

Inputs

Enquêtes Nationales Marchandises en Ville

Un fichier d'établissements localisés selon un zonage : SIRENE sur zonage IRIS

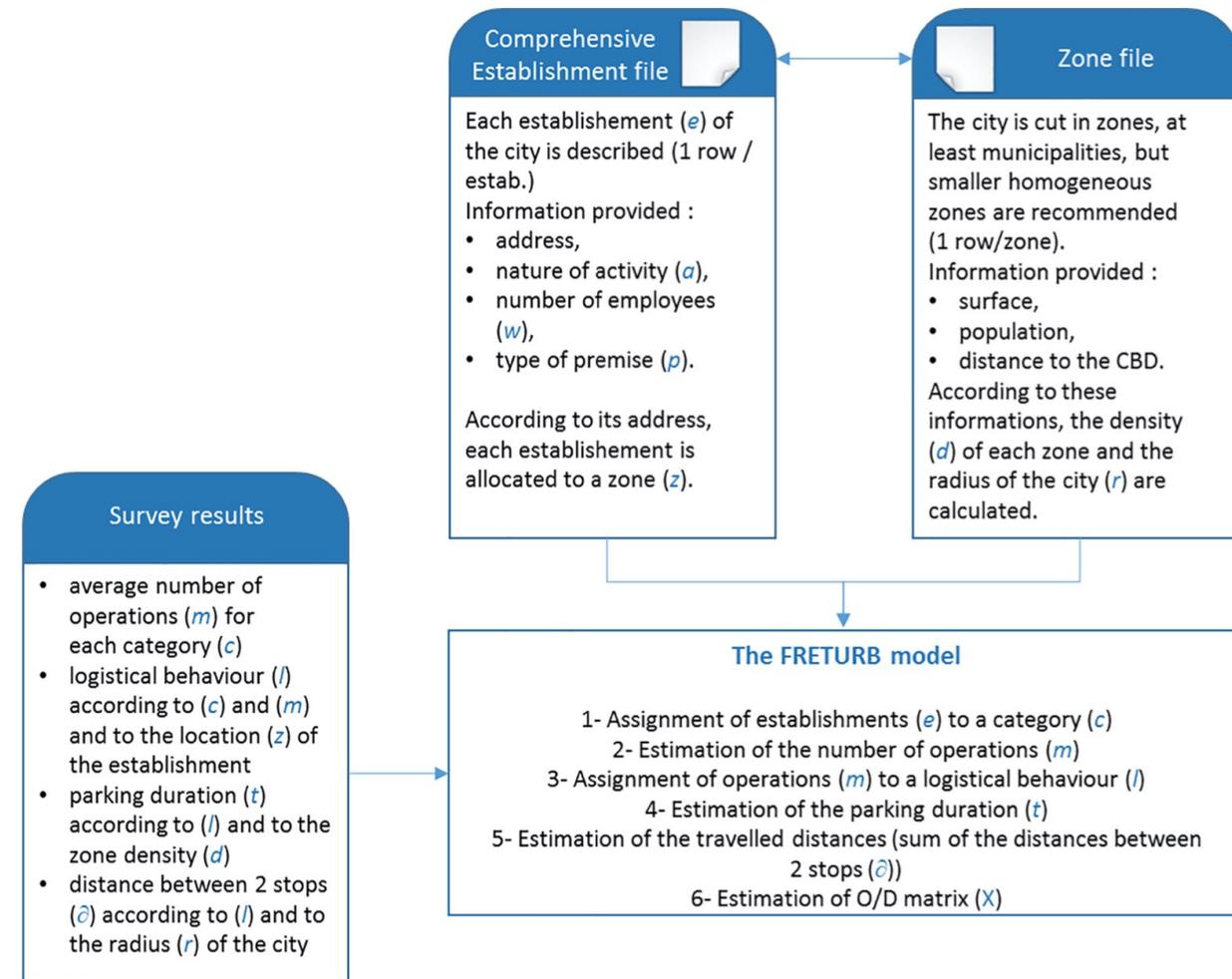
Un fichier qui décrit les caractéristiques des zones (population, superficie, distance au centre)

Un distancier zone à zone

Analyse générale

En ce qui concerne le type de livraison (trace directe ou tournée), l'exploitation FRETURB de l'échantillon nous a appris que 28.9 % des mouvements sont réalisés en trace directe et 71.1 % en tournée.

- 274 138 mouvements en trace directe soit 137 069 véhicules par jour
- 672 818 mouvements réalisés en tournée soit 58 583 véhicules par jour.
- Il y a donc quotidiennement environ 100 000 véhicules de livraison dans Paris.
- Une grande majorité de ces livraisons est réalisée en véhicules inférieur à 3,5 tonnes. Le reste des livraisons sont réalisées par poids lourds (porteur : 32,1 % et articulé : 5,2 %).



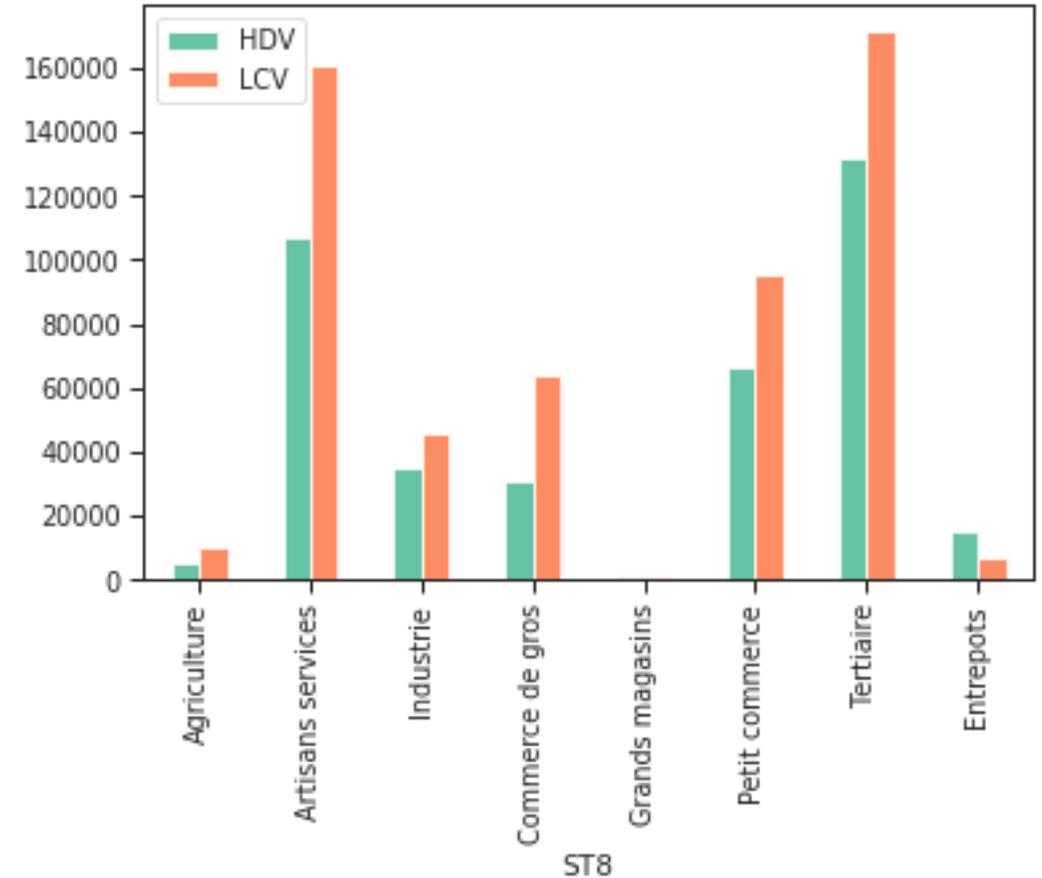
Application sur l'Île de France

Mouvements de marchandises

Analyse par type d'activité (ST8)

Mouvements journaliers par type d'activité pour toute catégorie de véhicules:

- Agriculture 2 %
- Artisans services 28 %
- Industrie 8 %
- Commerce de gros 10 %
- Grands magasins <1 %
- Petit commerce 17 %
- Tertiaire 32 %
- Entrepôts 2 %



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

Modèle OLYMPUS

A. Elessa Etuman and I. Coll: OLYMPUS: an air pollutant and GHG urban emissions model

5103

Table 1. OLYMPUS parameterization for the greater Paris simulation.

Module	Inputs	Sources	Description
Synthetic population			
	Number of households, household sex, age, employment rate, household density	INSEE	These data are mainly derived from the census of the regional population
Travel demand preprocessor			
	Transit stations Job center	Île-de-France INSEE	These databases are spatialized in GIS format
Activity-based travel demand			
	Number of daily trips Mean transit travel time Car cost Public transportation ticket price	STIF, DRIEA STIF OMNIL	These data are mainly derived from surveys, including the Global Transport Survey (EGT), the household-displacement survey (EMD), and also national statistics
Road assignment			
	Road network	LVMT	The main road network
Building energy demand			
	Energy mix	ARENE	Greater Paris regional energy agency
	Energy use per m ²	CEREN	Survey data
Building and transport emissions			
	Car fleet	Carteret et al. (2015)	Video fleet observation studies

RÉSULTATS

GÉNÉRATION DE LA POPULATION SYNTHÉTIQUE

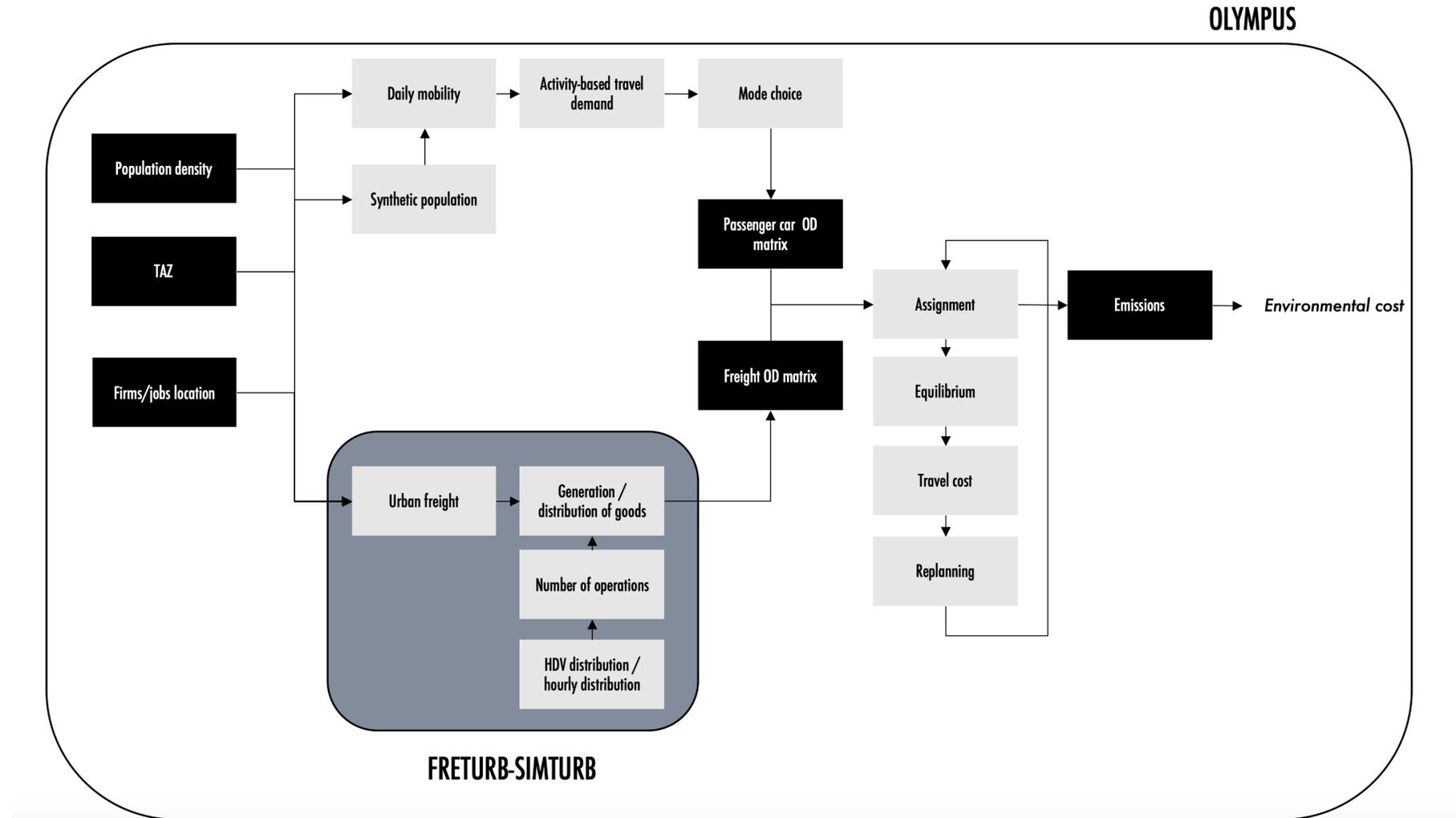
DEMANDE DE MOBILITÉ

MOUVEMENTS DE MARCHANDISES

TRAFIC

EMISSIONS

OLYMPUS-FRETURB - Application



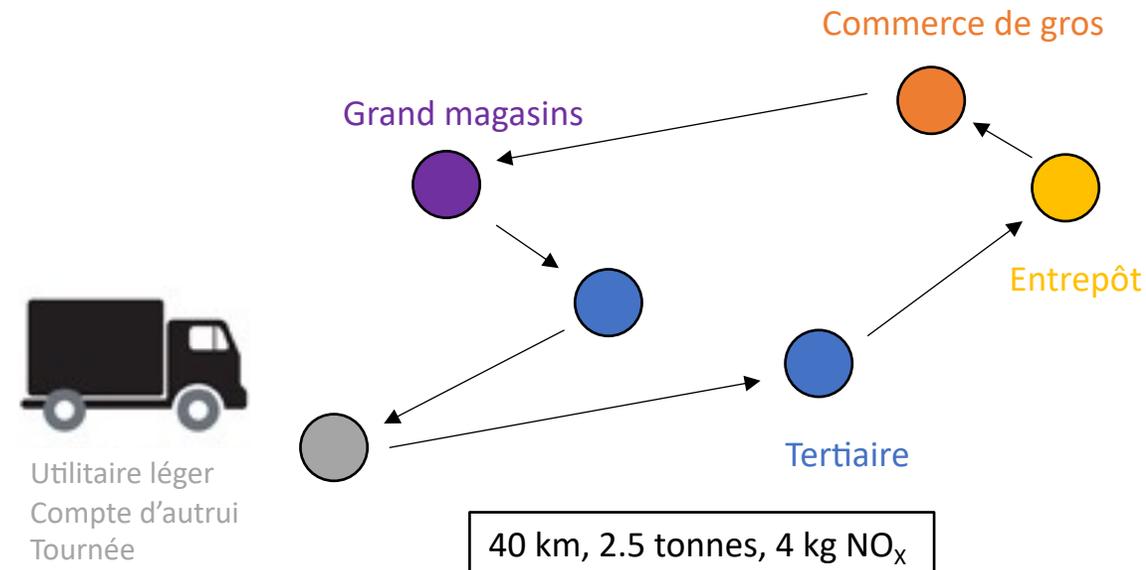
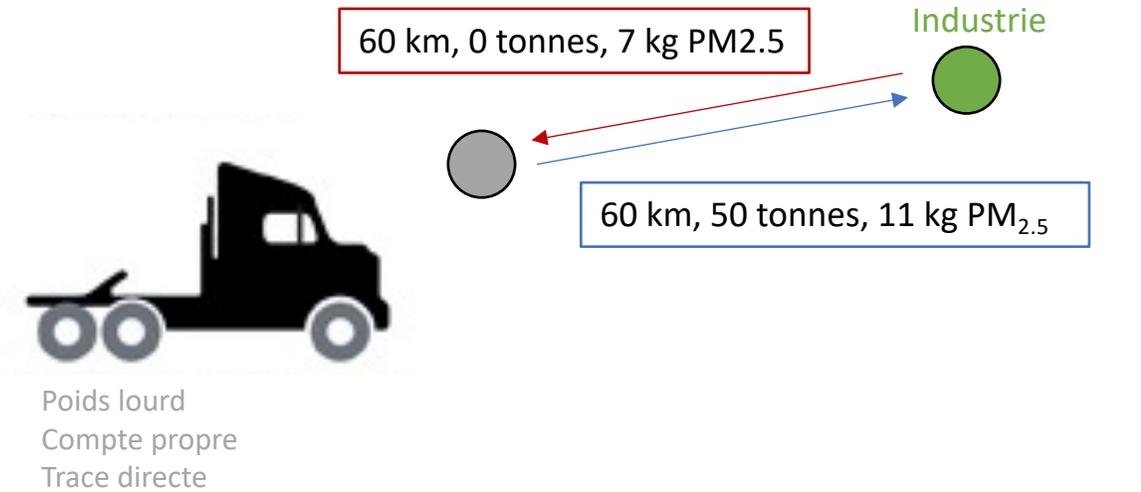
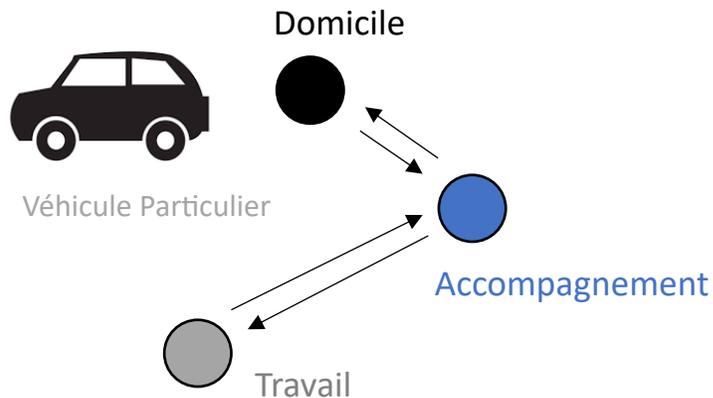
OLYMPUS-FRETURB - Application

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



OLYMPUS-FRETURB - Application

Emissions de polluants

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:

Oxydes d'azote (NO_x)

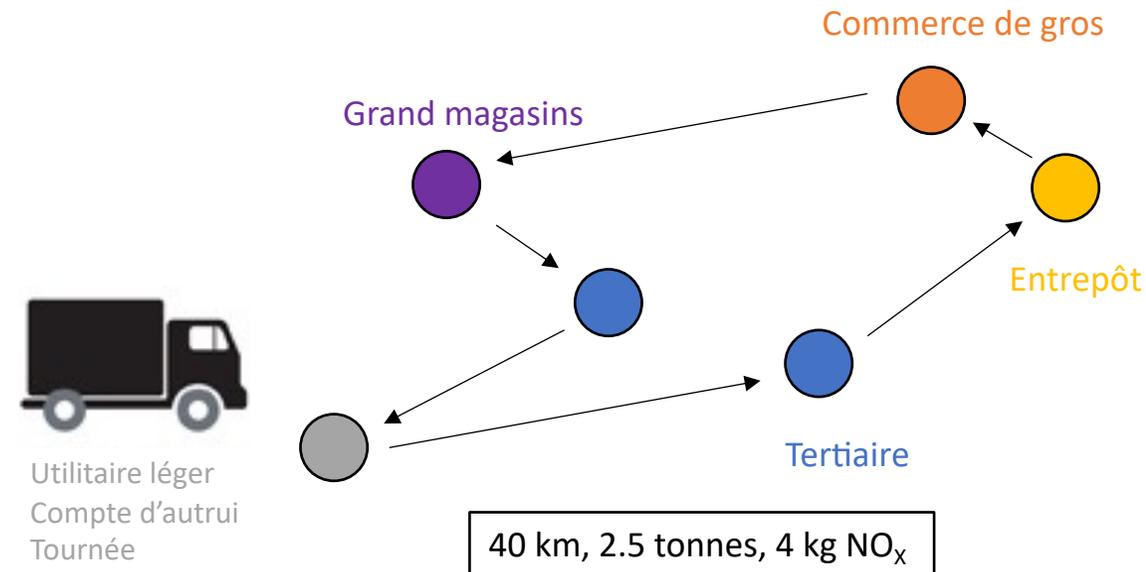
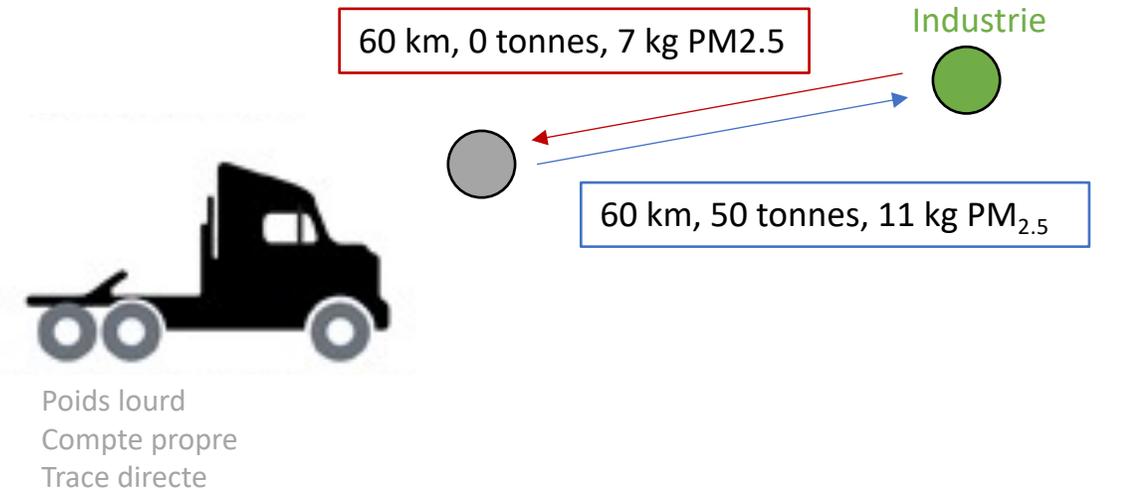
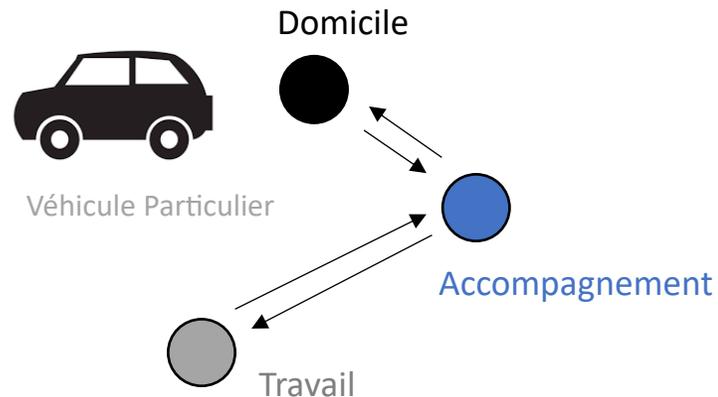
- VP. : 14 704 kg | VUL : 10 319 kg | PL : 21 771 kg

Particules fines (PM)

- VP. : 110 kg | VUL : 305 kg | PL : 304 kg

Composés organiques volatiles (COVNM)

- VP. : 14 704 kg | VUL : 10 319 kg | PL : 21 771 kg



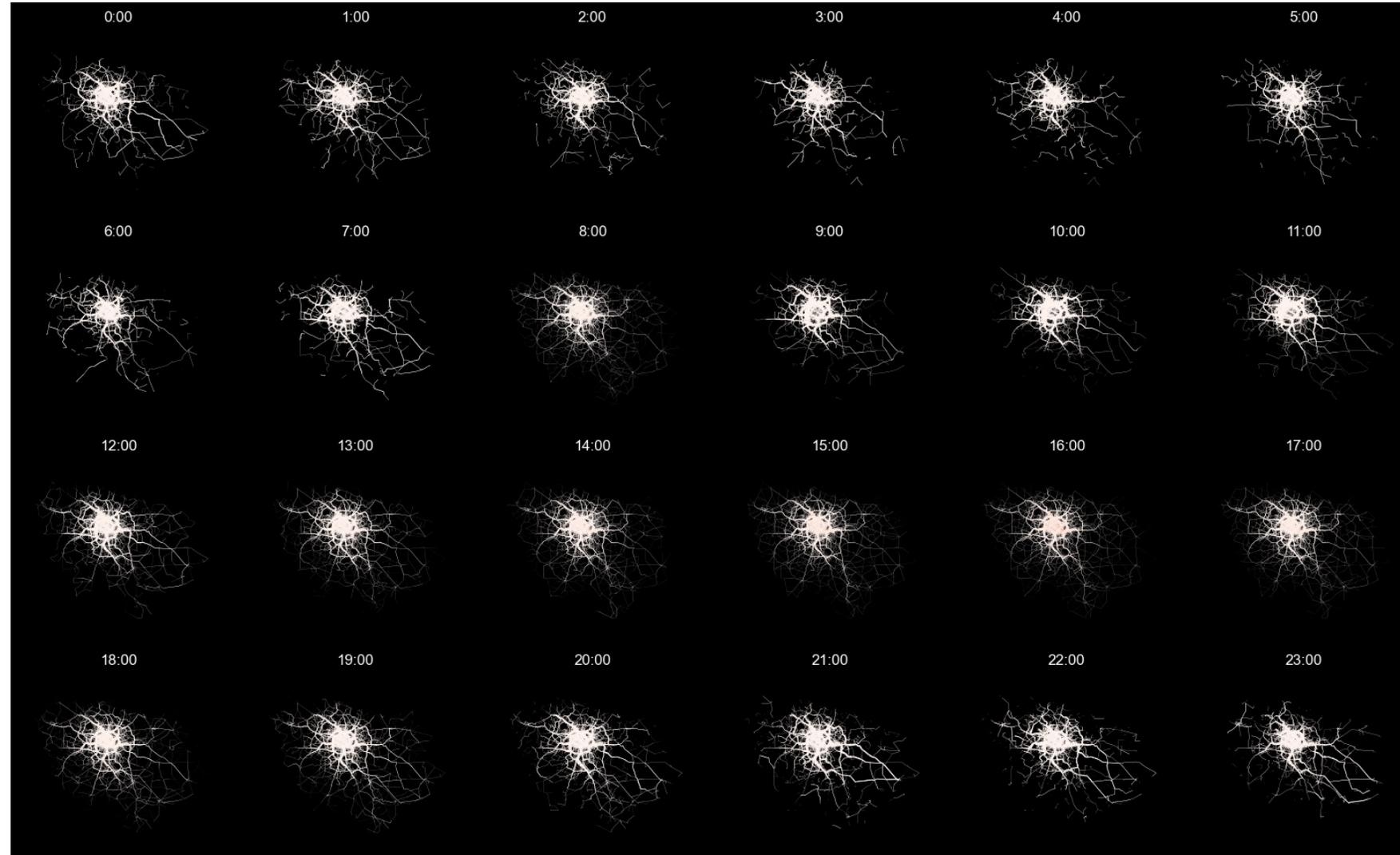
Trafic routier

Trafic

Trafic routier

En termes de kilomètres parcourus les véhicules particuliers représentent 75.21% des kilomètres parcourus. En comparaison avec le rapport d'Airparif sur l'année 2010 on observe une différence de moins de 4%.

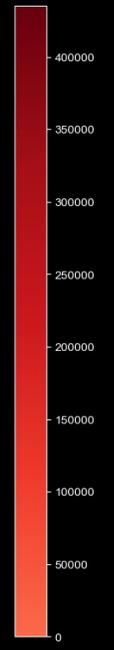
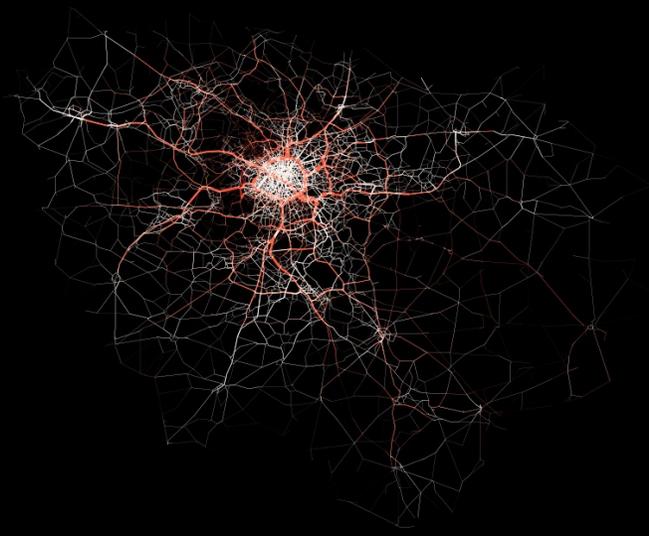
Les utilitaires légers et les poids lourds représentent respectivement 14% et 10% des kilomètres parcourus. On observe une différence de -1.65% pour les utilitaires et de +5.43% pour les poids-lourd.



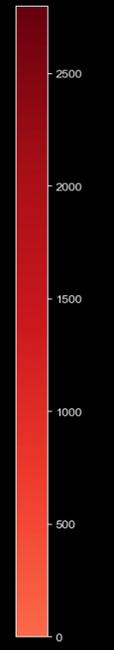
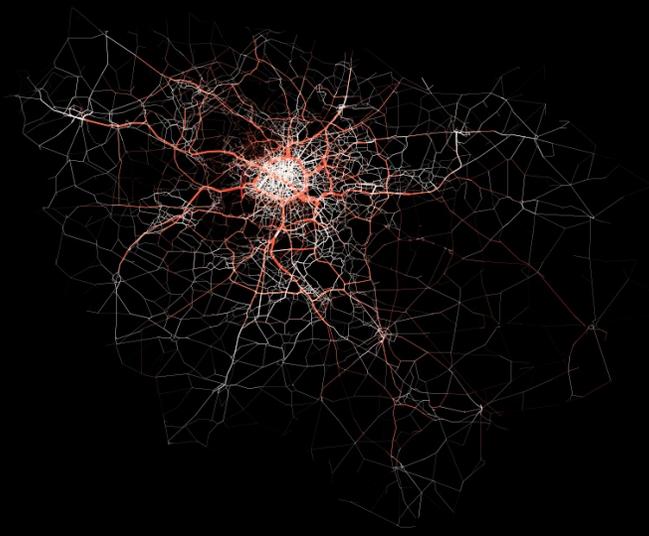


Véhicule Particulier

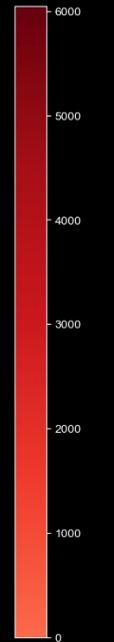
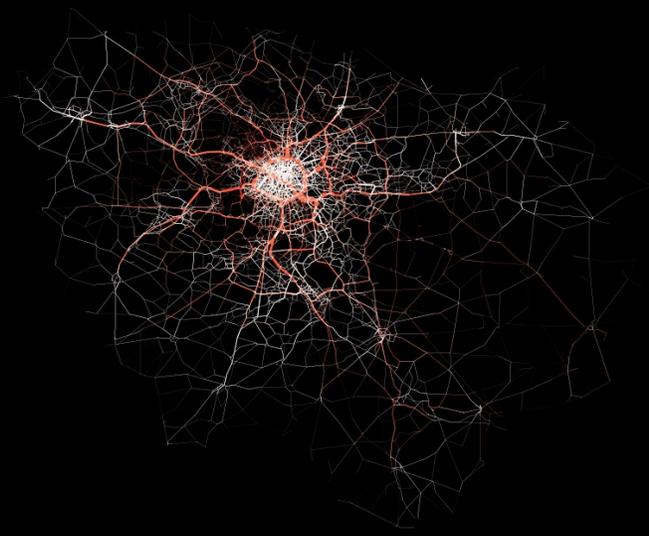
NOx



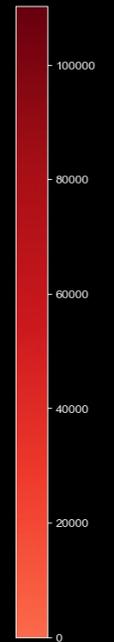
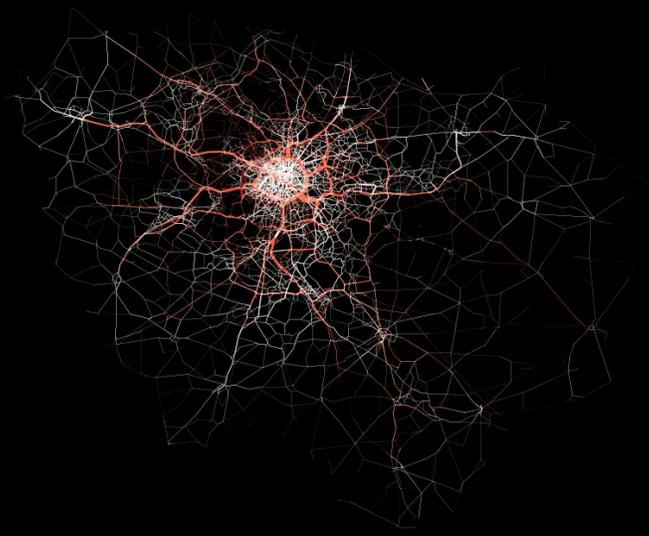
PM_ Exhaust



NM VOC

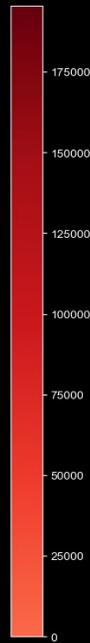
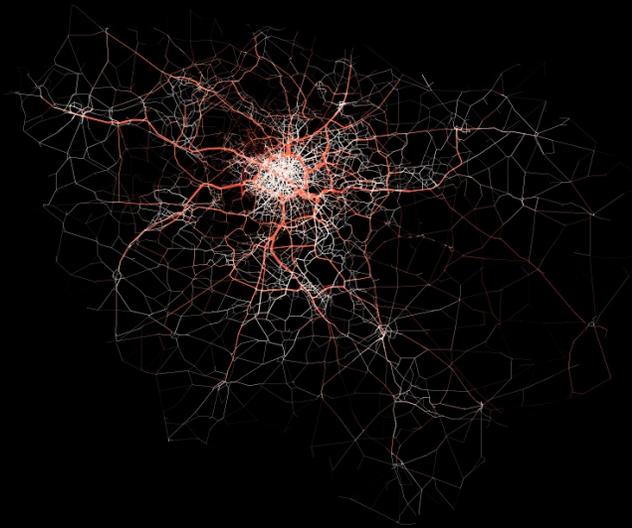


CO

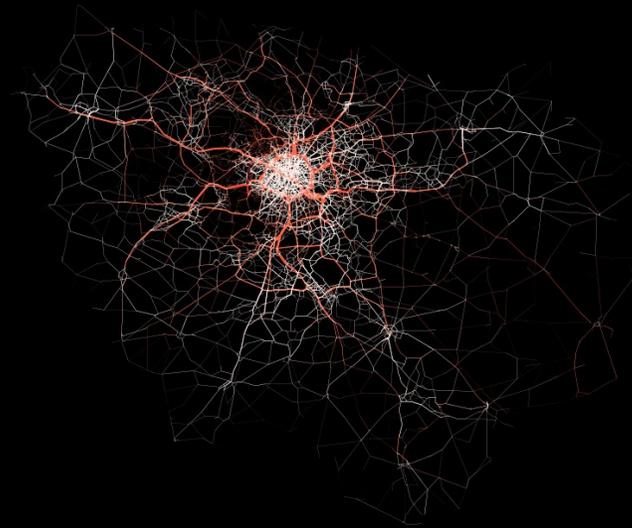




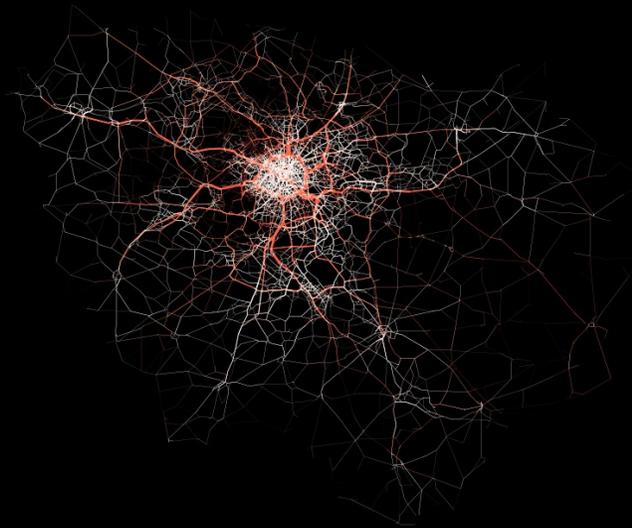
NOx



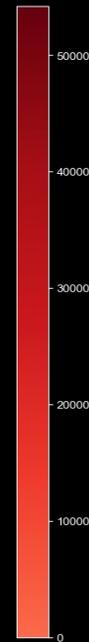
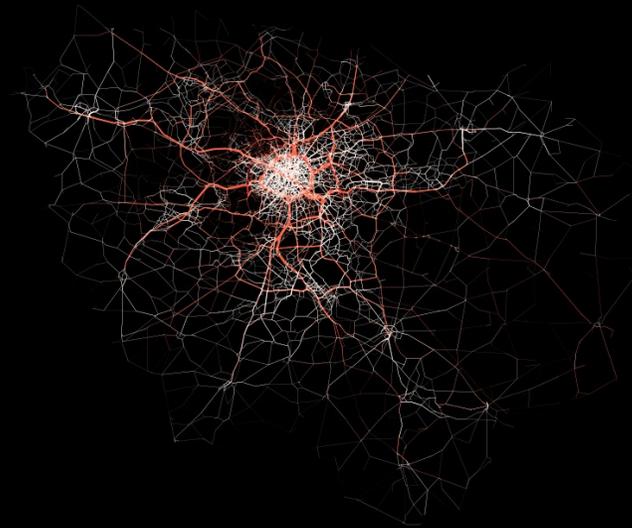
PM_Exhaust



NM VOC

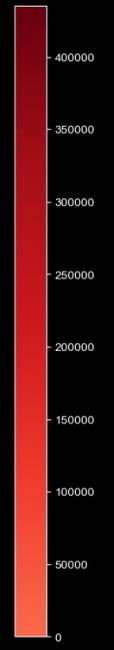
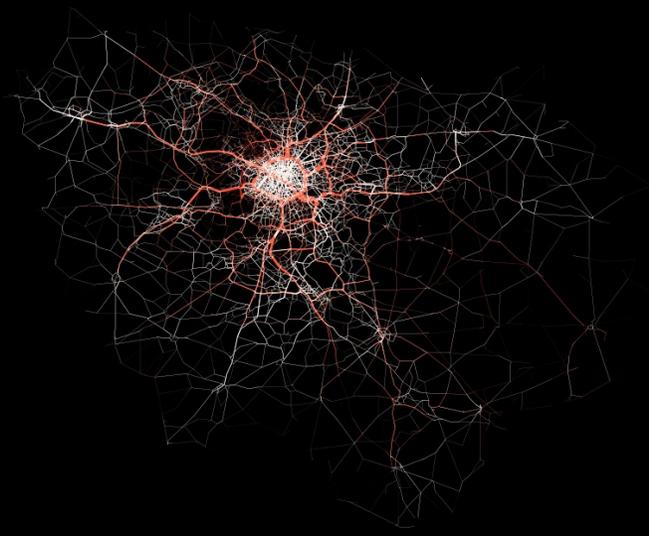


CO

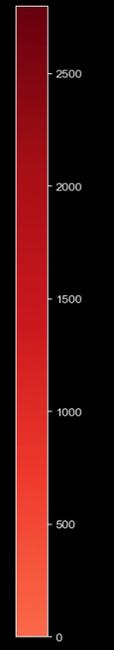
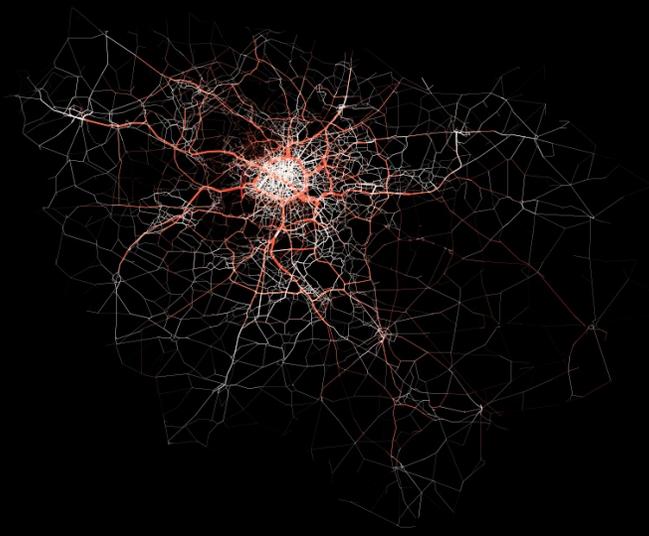




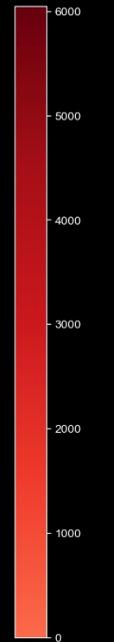
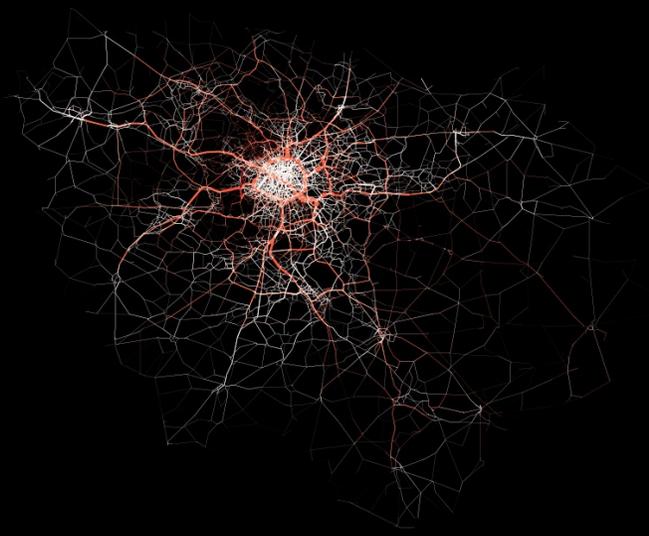
NOx



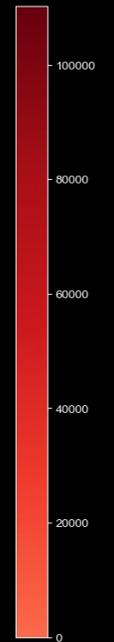
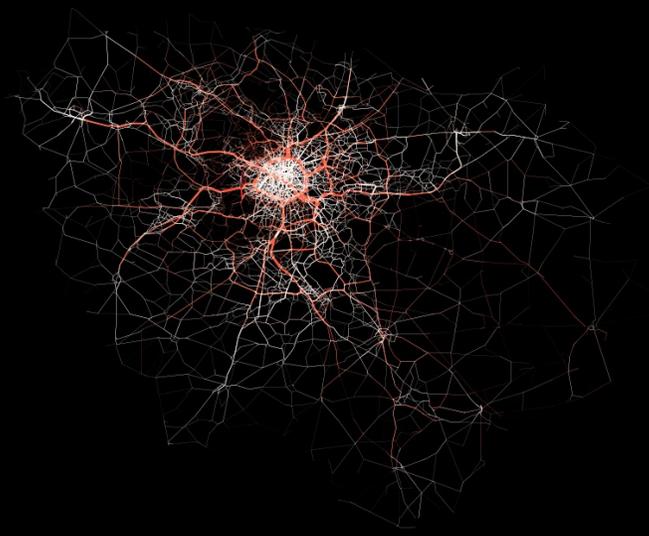
PM_Exhaust



NM VOC



CO



ANALYSE

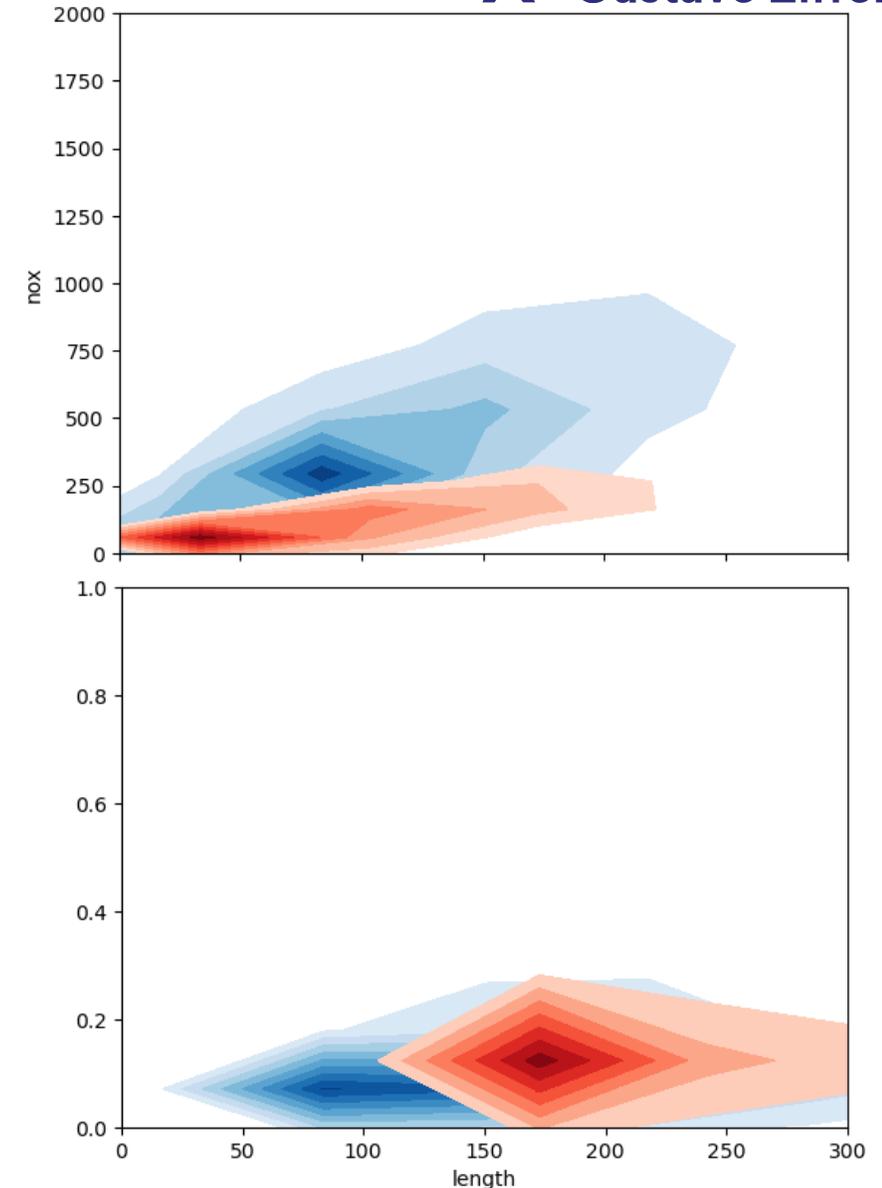
VUL et PL

Analyses

VUL - PL

Bilan d'émissions

De manière générale, les émissions de poids-lourd sont entre 2-6 fois plus importantes que celles des utilitaires légers mais ramené à la quantité de marchandise la tendance est inversée comme illustré sur les figures ci-après représentant les noyaux de densité d'émissions en fonction de kilomètres parcourus et d'émissions par quantité de marchandise en fonction de kilomètres parcourus.



(1) Emissions de NOx en fonction des distances parcourues,
(2) Emissions de NOX par tonne de marchandise en fonction des distances parcourues (VUL - PL)

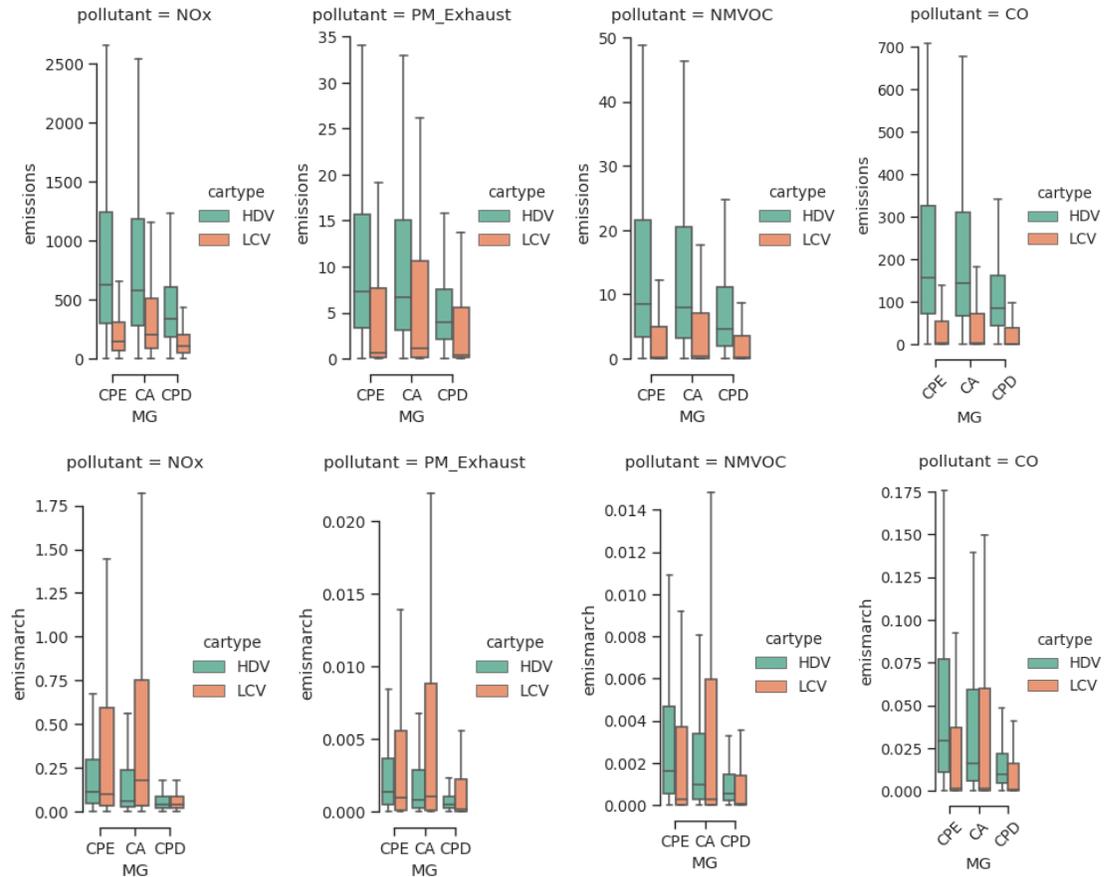
Analyses

VUL- PL

Bilan d'émissions

De manière générale, les émissions de poids-lourd sont entre 2-6 fois plus importantes que celles des utilitaires légers mais ramené à la quantité de marchandise la tendance est inversée comme illustré sur les figures ci-après représentant les noyaux de densité d'émissions en fonction de kilomètres parcourus et d'émissions par quantité de marchandise en fonction de kilomètres parcourus.

Si l'on se concentre sur les émissions du transport de marchandise, bien qu'en moyenne les émissions de polluants provenant de poids lourds sont plus importantes que celle des utilitaires légers et ce pour les CPE, CA, CPD (cf boîte à moustache), ramené à la quantité de marchandise, ce sont les utilitaires légers qui émettent le plus pour les NOx et les particules fines. Cela est moins vrai pour le CO et les composés organiques volatiles. Les CPD polluent moins que les CA et les CPE pour l'ensemble des polluants.



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

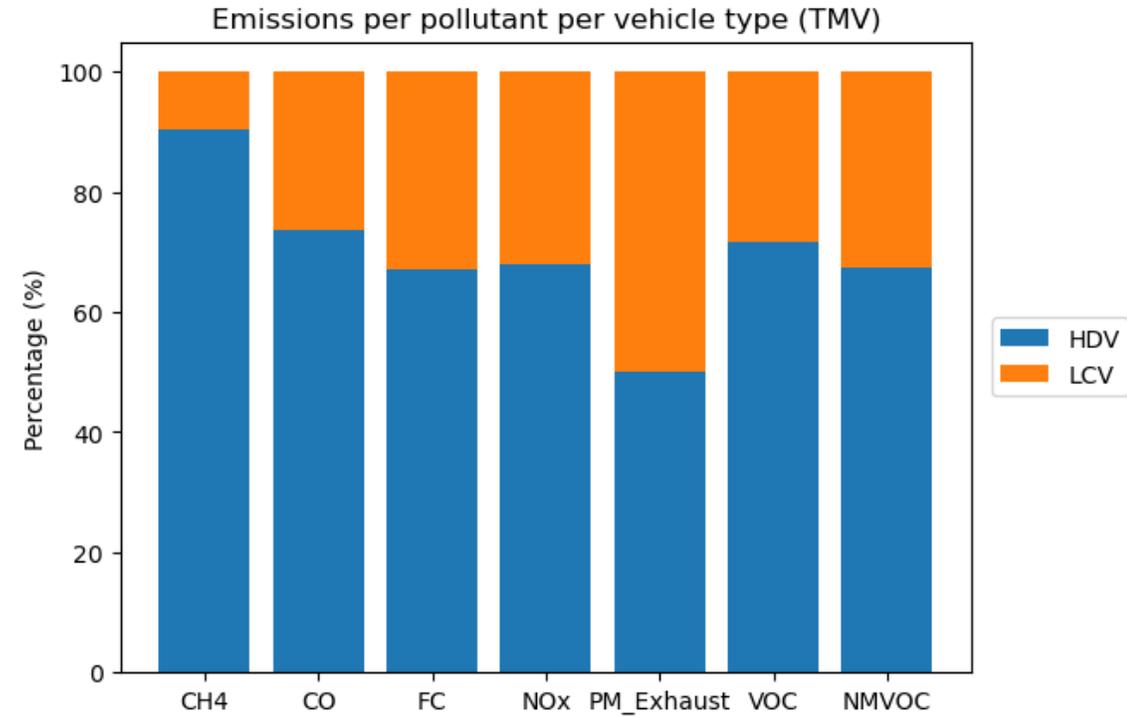
Analyses

Emissions de polluants (VUL – PL)

Emissions par type de véhicule

Près de 70 % des émissions de polluants du TMV sont issues des poids lourds.

Toutefois, près de 50% des émissions de particules fines proviennent des véhicules utilitaires légers.



Distribution des émissions de polluants en fonction du type de véhicule

PERSPECTIVES

GÉNÉRATION DE LA POPULATION SYNTHÉTIQUE

DEMANDE DE MOBILITÉ

MOUVEMENTS DE MARCHANDISES

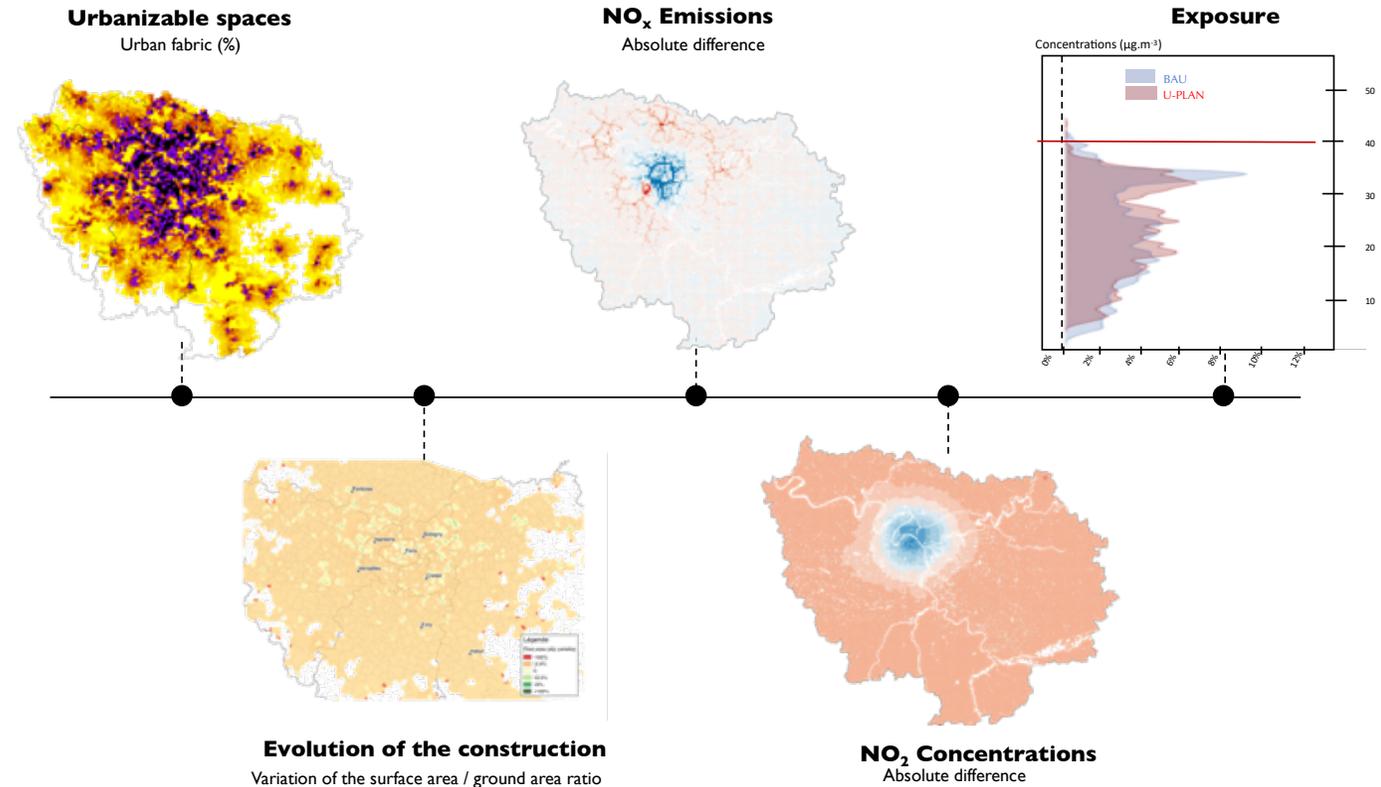
TRAFIC

EMISSIONS

Perspectives

Simuler l'évolution du TMV à l'horizon 2030

Définition de scénarios prospectifs pour l'évaluation des potentielles mutations du territoire d'ici 2030 et ce dans le cadre du projet POLL-EXPO qui a pour ambition d'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.



Perspectives

Scénarios de logistique urbaine

LEZ

Mise en place de LEZ (Low Emission Zone) aussi appelées ZCR (Zone à Circulation Restreinte). Elles sont de deux sortes :

- o ZCR simple : restriction d'accès à des types de véhicules
- o ZCR à péage : ZCR simple + péage urbain

CARGO-BIKE

Forte augmentation des livraisons par cargo bike (distance maximale de 70Km par tournée et un poids total de 250kg).

LIVRAISONS NOCTURNES

Contrainte sur les secteurs d'activité, modes de gestion et taille d'entreprise.

