

Bilan environnemental du transport de fret en Ile-de-France : une analyse par approche multi-agents des tournées et de leur impact sur le secteur des transports

Arthur Elessa Etuman, Martin Koning, Mathieu Gardrat, Isabelle Coll, Taos Benoussaïd

*Arthur Elessa Etuman, PhD
Arthur.elessa-etuman@lisa.ipsl.fr*

Introduction

La qualité de l'air en milieu urbain : un enjeu sanitaire et sociétal majeur

- Plus de 20 ans de politiques de gestion de la qualité de l'air... La pollution de l'air reste un problème dans de nombreuses régions d'Europe.
- Manque d'interaction entre la recherche sur la modélisation de la qualité de l'air, la politique et la pratique et les sciences sociales.
- Les travaux présentés ici progressent de manière significative sur deux points essentiels :
 - Il va au-delà de nombreuses approches comportementales traditionnelles basées sur le choix individuel.
 - Ils combinent les sciences sociales avec les aspects quantitatifs de la modélisation de la qualité de l'air.
- L'approche sociale proposée doit être considérée comme complémentaire de la modélisation existante de la qualité de l'air..



Introduction

La pollution urbaine

- Phénomène de proximité dû à l'accumulation des polluants
- Morphologie du bâti
- Impacts chroniques sur la santé

Episodes de pollution

- Conditions météorologiques (vent faible, inversion thermique, transport de panaches)
- Aggravation de l'exposition



Introduction

Les impacts de la pollution de l'air sur la santé

- Dans le monde,
 - BPCO -1 078 800 décès
 - AVC -1 082 750 décès
 - Cancer pulmonaire - 402 350 décès
 - Infarctus - 242 250 décès
 - Maladies respiratoires - 169 250 décès



Impacts cardiovasculaire

Etudes

- Diminution de la capacité de transfert d'O₂ l'hémoglobine par le **CO** (*Badman et Jaffe, 1996*)
- Impact des **PM** sur la coagulation du sang (*Riediker et al., 2004*)
- Angine, infraction myocardique (*Vermeylen et al., 2005*)
- **altération de la fonction cardiaque autonome**
- **obstruction des vaisseaux sanguins**
- **arrêts cardiaques ...**

Introduction

Les impacts de la pollution de l'air sur la santé

- Dans le monde,
 - BPCO -1 078 800 décès
 - AVC -1 082 750 décès
 - Cancer pulmonaire - 402 350 décès
 - Infarctus - 242 250 décès
 - Maladies respiratoires - 169 250 décès



Impacts sur la santé respiratoire

Etudes

- **Mécanismes** - bronchoconstriction et de la dyspnée en cas d'exposition aigue au **SO₂** (*Balmes et al., 1987*), **NOX** (*Kagawa, 1985*)
- Pénétration des **PM** dans l'épithélium alvéolaire (*Ghio et Huang, 2004*)
- Inflammation pulmonaire initiée par l'**ozone** (*Uysal et Schapira, 2003*).

- **irritations nez, gorge**
- **maladies BPCO**
- **cancer du poumon**

Introduction

Les impacts de la pollution de l'air sur la santé

- Dans le monde,
 - BPCO -1 078 800 décès
 - AVC -1 082 750 décès
 - Cancer pulmonaire - 402 350 décès
 - Infarctus - 242 250 décès
 - Maladies respiratoires - 169 250 décès



Impacts sur le système nerveux

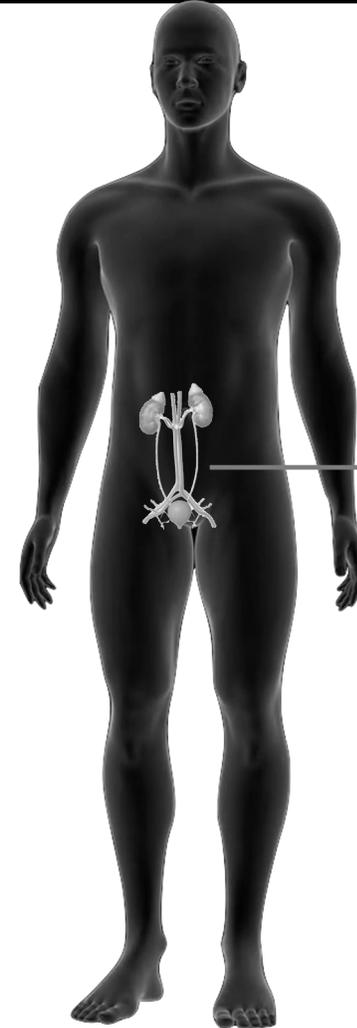
Etudes

- Le système nerveux principalement affecté par **métaux lourds** (plomb, mercure et arsenic) et les dioxines.
- **Troubles de la mémoire, des troubles du sommeil, de la colère, de la fatigue**, des tremblements de la main, une vision floue et une altération de la parole (*Ewan et Pamphlett*).
- **Dioxines** diminuent vitesse conduction nerveuse, altération développement mental enfants (*Thomke et al., 1999; Walkowiak et al., 2001*).

Introduction

Les impacts de la pollution de l'air sur la santé

- Dans le monde,
 - BPCO -1 078 800 décès
 - AVC -1 082 750 décès
 - Cancer pulmonaire - 402 350 décès
 - Infarctus - 242 250 décès
 - Maladies respiratoires - 169 250 décès



Impacts sur le système urinaire

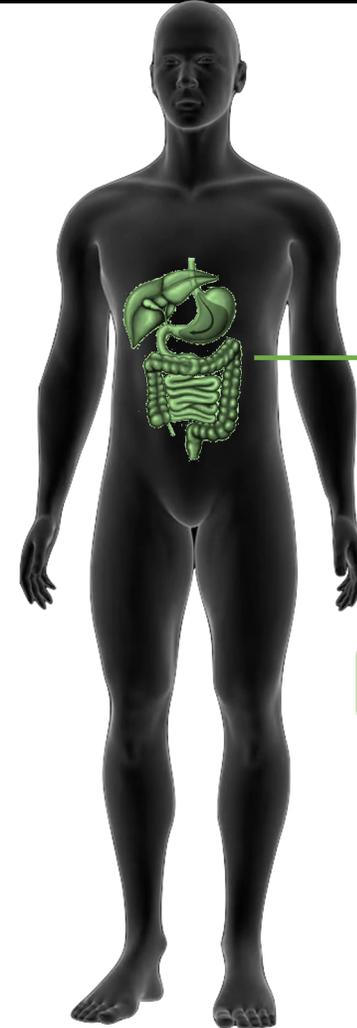
Etudes

- Les métaux lourds peuvent induire des lésions rénales et augmenter le risque de formation de pierres ou de néphrocalcinose (*Bokta et al., 1993*)

Introduction

Les impacts de la pollution de l'air sur la santé

- Dans le monde,
 - BPCO -1 078 800 décès
 - AVC -1 082 750 décès
 - Cancer pulmonaire - 402 350 décès
 - Infarctus - 242 250 décès
 - Maladies respiratoires - 169 250 décès



Impacts sur le système digestif

Etudes

- Les dioxines induisent des lésions des cellules du foie (Kimbrough et al., 1977, ainsi que le cancer gastro-intestinal et du foie (Mandal, 2005).
- Impacts du NO₂ sur le foie, la rate et le sang (EEA)

Introduction

Les impacts de la pollution de l'air sur la santé

- Dans le monde,
 - BPCO -1 078 800 décès
 - AVC -1 082 750 décès
 - Cancer pulmonaire - 402 350 décès
 - Infarctus - 242 250 décès
 - Maladies respiratoires - 169 250 décès



Impacts économiques

- Coût de la pollution particulaire entre
- 20 et 30 Mds € par an. (CGDD)
- Dépenses de santé, hospitalisation,
- manque de travail, décès...
- Aggravation de l'exposition

Introduction

Les impacts de la pollution de l'air sur la santé

- Dans le monde,
 - BPCO -1 078 800 décès
 - AVC -1 082 750 décès
 - Cancer pulmonaire - 402 350 décès
 - Infarctus - 242 250 décès
 - Maladies respiratoires - 169 250 décès



Impacts économiques

- Coût de la pollution particulaire entre
- 20 et 30 Mds € par an. (CGDD)
- Dépenses de santé, hospitalisation,
- manque de travail, décès...
- Aggravation de l'exposition

Intégration de la qualité de l'air dans la conception de la ville de demain

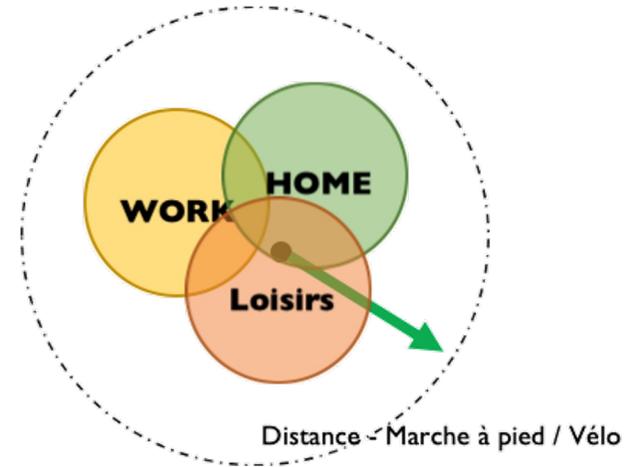
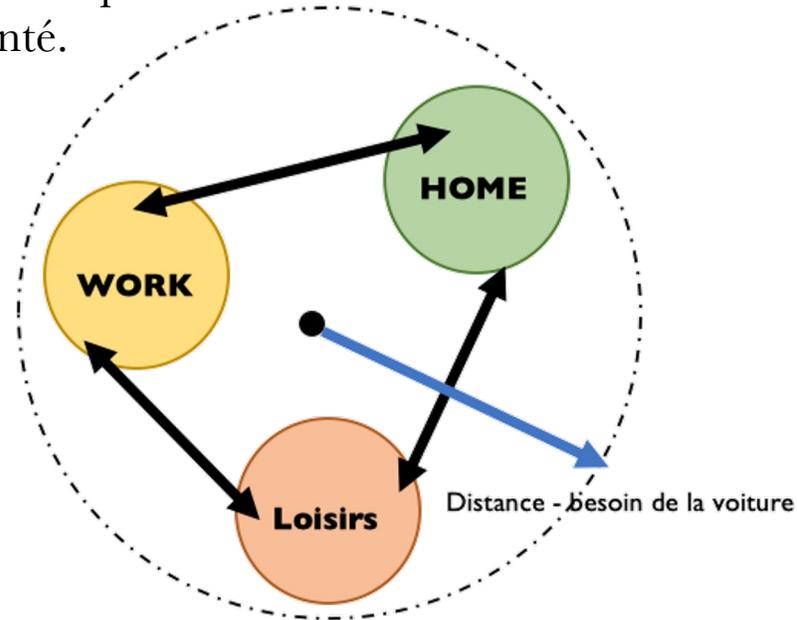
Introduction

L'importance du temps et de l'espace

- Le fait de vivre à proximité de dangers environnementaux tels que la pollution atmosphérique urbaine accroît le risque d'effets néfastes sur la santé.

La ville compacte

- Guide de l'évolution des villes (EEA)
- Densification des zones habitables
- Proximité et mixité des services
- Réduction des distances
- Réduction des déplacements
- Usage d'énergies renouvelables



Introduction

L'importance du temps et de l'espace

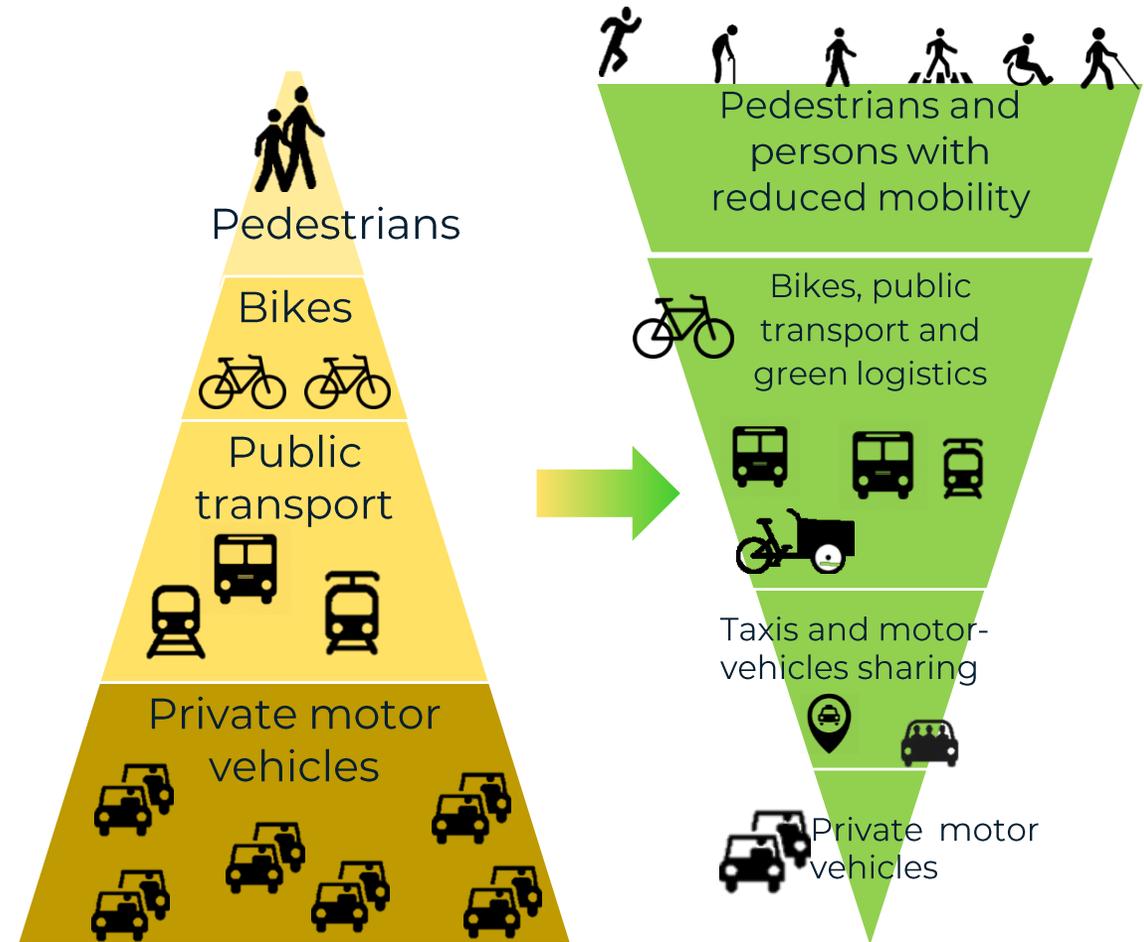
- Le fait de vivre à proximité de dangers environnementaux tels que la pollution atmosphérique urbaine accroît le risque d'effets néfastes sur la santé.

La ville compacte

- Guide de l'évolution des villes (EEA)
- Densification des zones habitables
- Proximité et mixité des services
- Réduction des distances
- Réduction des déplacements
- Usage d'énergies renouvelables

Impacts de politiques environnementales sur la qualité de l'air

- Impacts de la mobilité
- Impacts du tissu urbain émetteur
- La modélisation comme outil de quantification et d'aide à la décision



Sources : Ville de Paris

Introduction

Question du statut sociodémographique

- L'âge, le sexe, les soins de santé, le revenu, le tabagisme, le régime alimentaire, l'éducation, les expositions professionnelles, la précarité de l'emploi, les antécédents en matière de vaccination, les environnements intérieurs, les facteurs de stress parentaux...
- Les déterminants sociaux de la santé sont les conditions dans lesquelles les gens naissent, grandissent, vivent, travaillent et vieillissent.
- Une seule santé (One health), agrégation et interaction tout au long de la vie, sur plusieurs générations (épigénétique).
- Le défi de l'intégration des SHS dans l'épidémiologie de la pollution de l'air



Modélisation numérique

« Quelle planification les politiques régionales doivent-elles favoriser pour assurer l'atteinte de leurs objectifs de qualité de l'air actuels et à venir ? »

Modélisation numérique

Pourquoi modéliser la ville ?

- Meilleure compréhension de la qualité de l'air urbain
- Identification des sources de pollution
- Développer des stratégies de réduction de l'exposition aux polluants
- Informer les politiques et élaborer des plans d'actions

- Simuler le futur par la prospective
- Identifier les innovations capable de répondre aux préoccupations actuelles
- Anticiper les problématiques à venir
- Nouvelle génération de scénarios QA :
- Villes compactes, étalées
- Schémas de planification territoriale (SDRIF, SRCAE, PDUIF...)
- Interface urbanisme/QA



Modélisation numérique

Pourquoi modéliser la ville ?

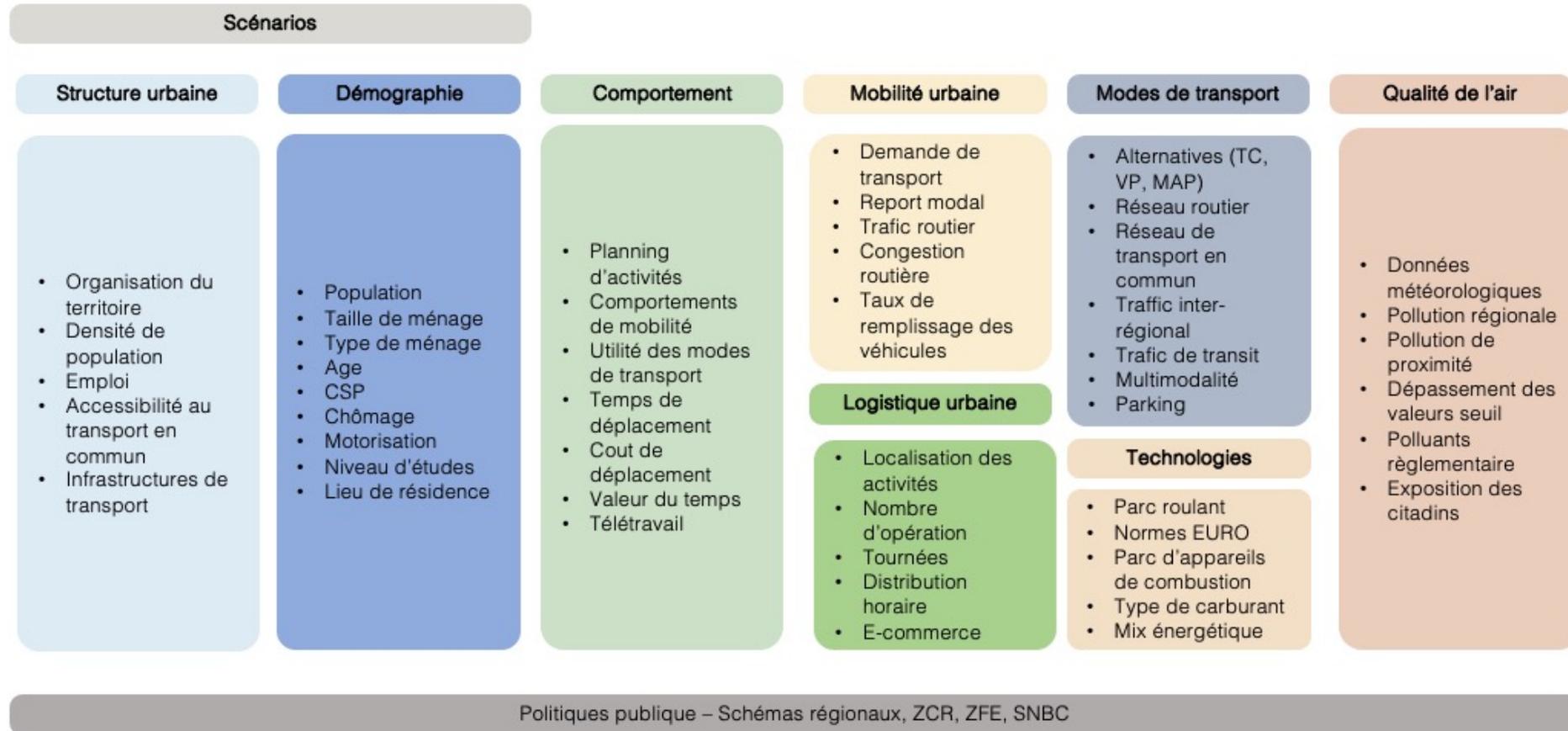
- Meilleure compréhension de la qualité de l'air urbain
- Identification des sources de pollution
- Développer des stratégies de réduction de l'exposition aux polluants
- Informer les politiques et élaborer des plans d'actions

- Simuler le futur par la prospective
- Identifier les innovations capable de répondre aux préoccupations actuelles
- Anticiper les problématiques à venir
- Nouvelle génération de scénarios QA :
- Villes compactes, étalées
- Schémas de planification territoriale (SDRIF, SRCAE, PDUIF...)
- Interface urbanisme/QA

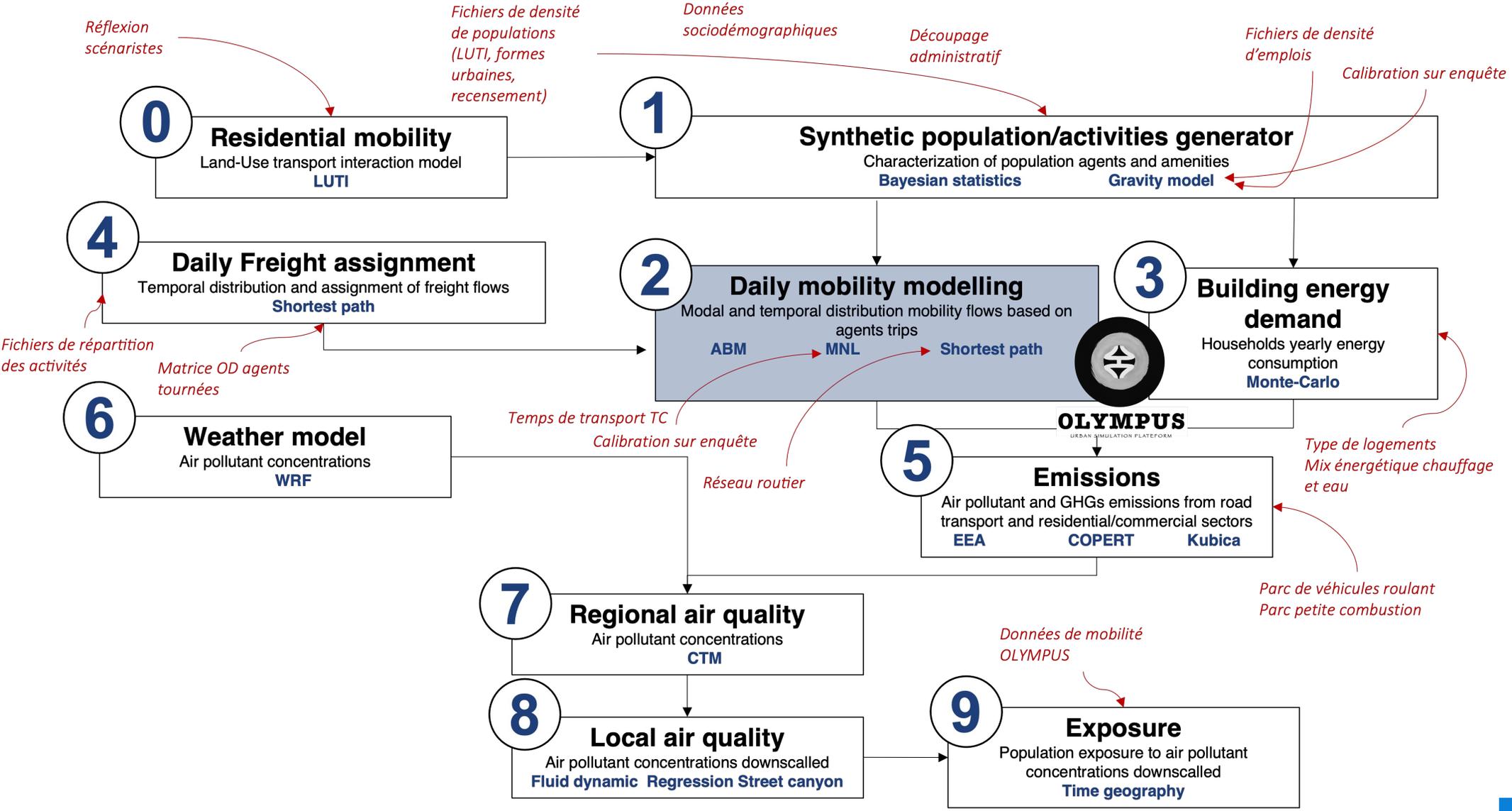
Comment modéliser la ville ?

- Théories fondatrices
- Identification des interactions et rétroactions
- Besoin de développer une approche pluridisciplinaire (Économique , Social, Sociétal, sanitaire, mobilité, énergie, habitat)

Modélisation numérique



Modélisation numérique



OLYMPUS

Plateforme de micro-simulation urbaine

Plateforme de modélisation intégrée pour le calcul des émissions de combustion en zone urbaine



Ambitions :

- Identification des sources de pollution
- Analyse spatiale quantitative
- Étude de systèmes urbains complexes
- Jonction entre la ville, la qualité de l'air, les émissions de polluants, l'exposition des populations urbaines.
- Modélisation des impacts de politiques urbaines sur les émissions de polluants atmosphériques

OLYMPUS

Plateforme de micro-simulation urbaine

Plateforme de modélisation intégrée pour le calcul des émissions de combustion en zone urbaine



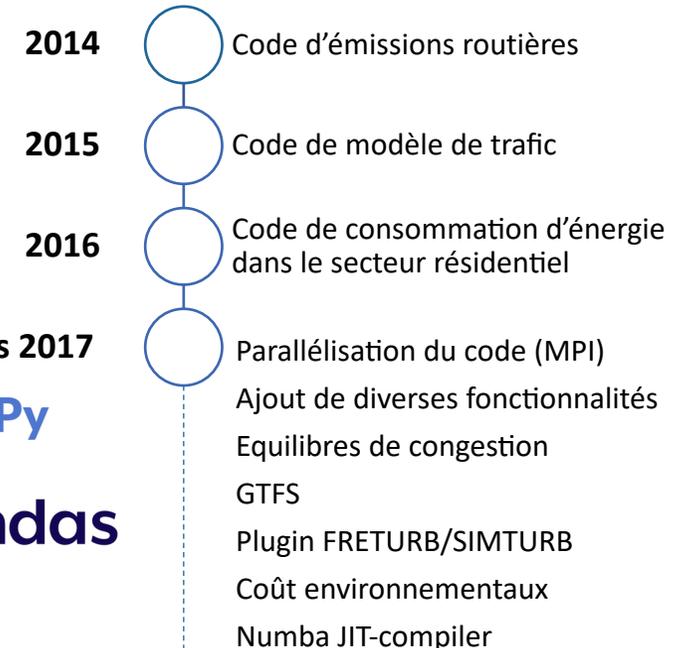
Ambitions :

- Identification des sources de pollution
- Analyse spatiale quantitative
- Étude de systèmes urbains complexes
- Jonction entre la ville, la qualité de l'air, les émissions de polluants, l'exposition des populations urbaines.
- Modélisation des impacts de politiques urbaines sur les émissions de polluants atmosphériques

Un ensemble d'outils intégrés pour simuler les émissions de polluants atmosphériques liés au trafic routier régional et à la combustion dans le secteur résidentiel/tertiaire.

- Développé au LISA par une équipe de chercheurs dont A. ELESSA ETUMAN et I. COLL en 2017.
- Code source écrit en Python

Bref historique...



OLYMPUS

Simulation d'émissions de polluants urbains basée sur des agents

« Le fait d'avoir des agents avec des attributs sociodémographiques permet d'analyser le comportement de groupes arbitraires de personnes après la simulation, au lieu de devoir préparer les données d'entrée pour ces groupes avant le calcul du modèle. »

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

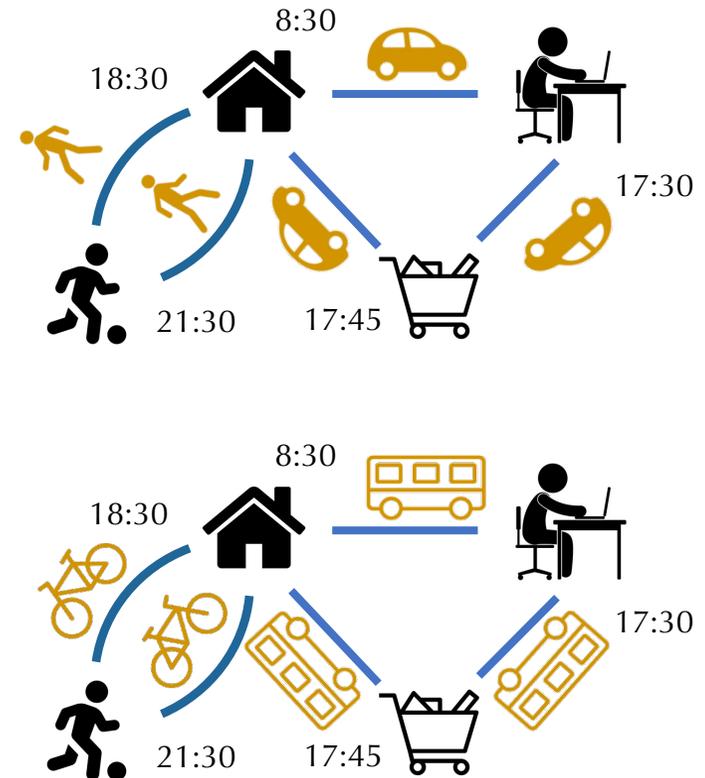
EDT : le planning d'activité d'un agent pour une journée type.

« 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 »

Replanification : certains agents modifient les plans.

- Choix d'itinéraires
- Changement de mode de transport (trip/tour)

Optimisation: Chaque agent cherche à optimiser son EDT (équilibre de Nash). Processus itératif.



Contexte et enjeux du TMV

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 .

Enjeux autour de la logistique 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](#))).

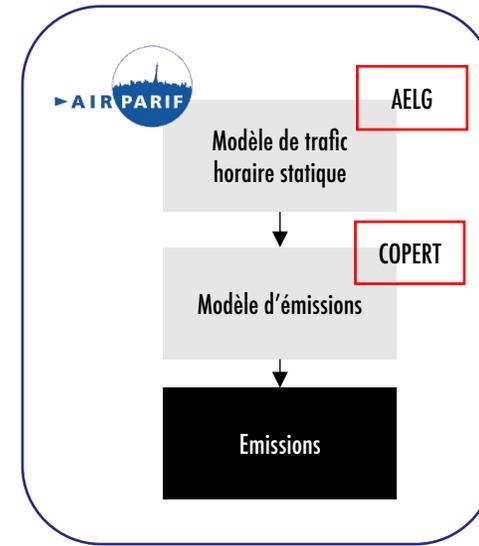


Contexte et enjeux du TMV

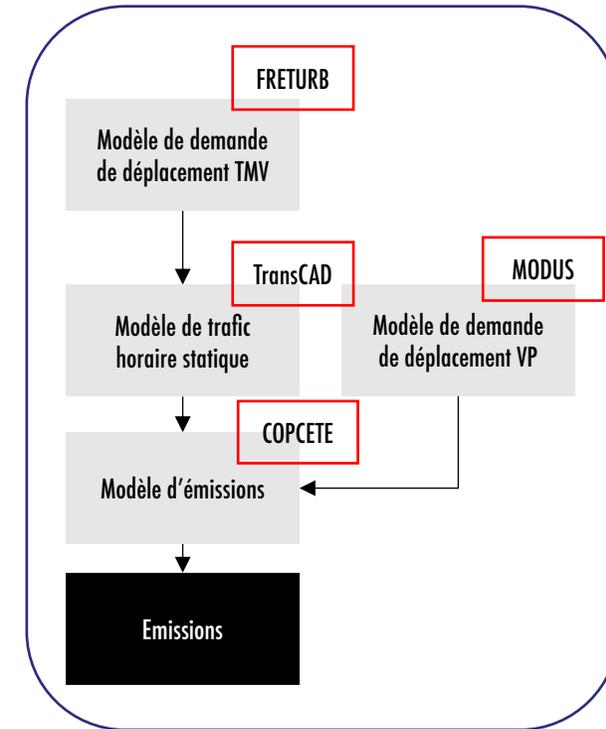
Modélisation des émissions routières liées au TMV en Ile de France.

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)

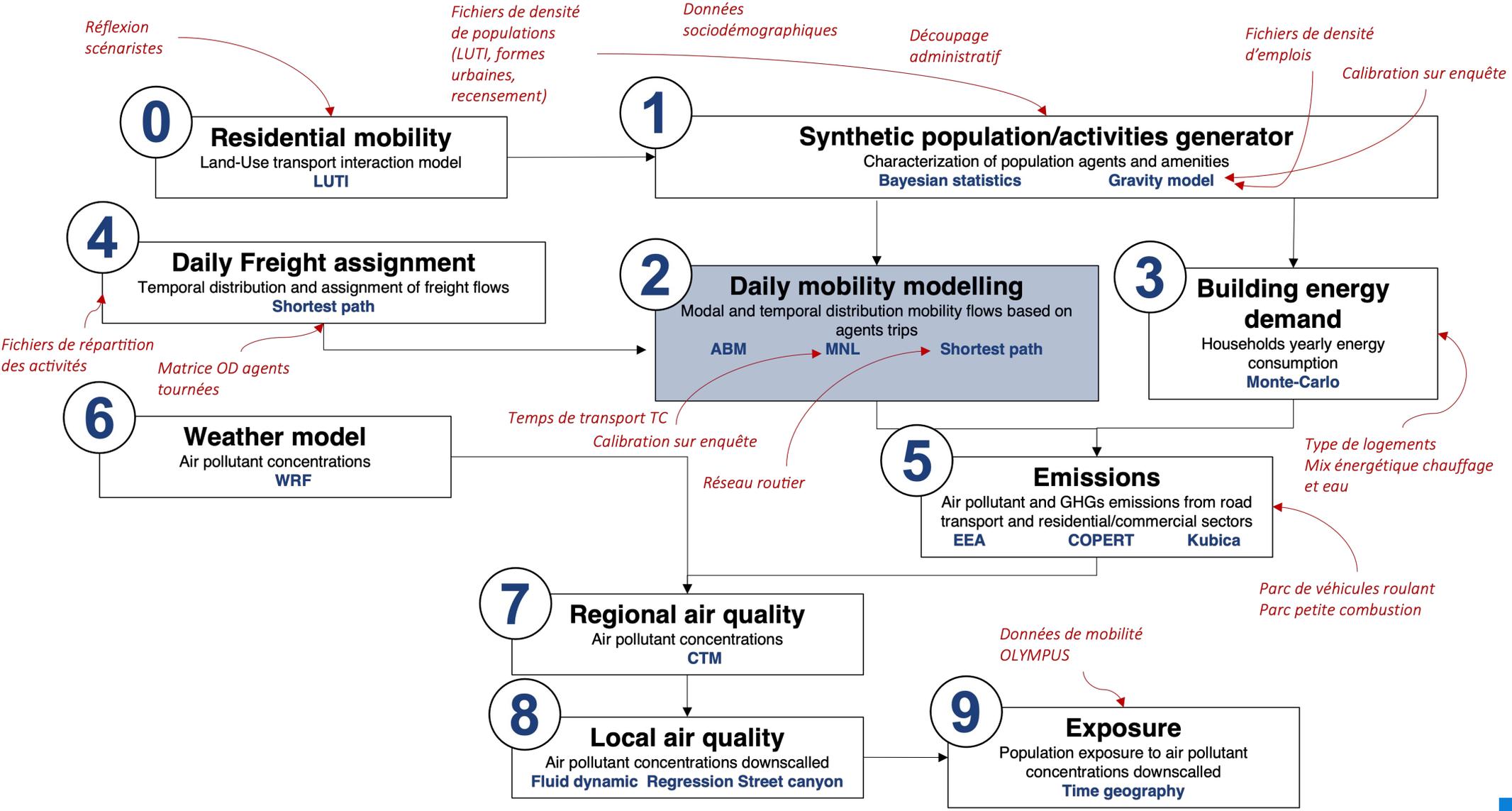


Chaîne de modélisation (Coulombel et al.)

Méthodologie

Structure de la plateforme de modélisation

Modélisation numérique



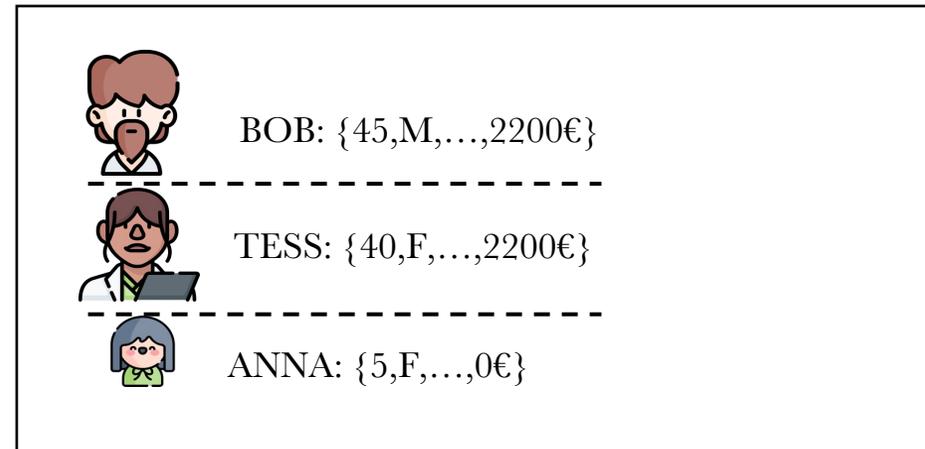
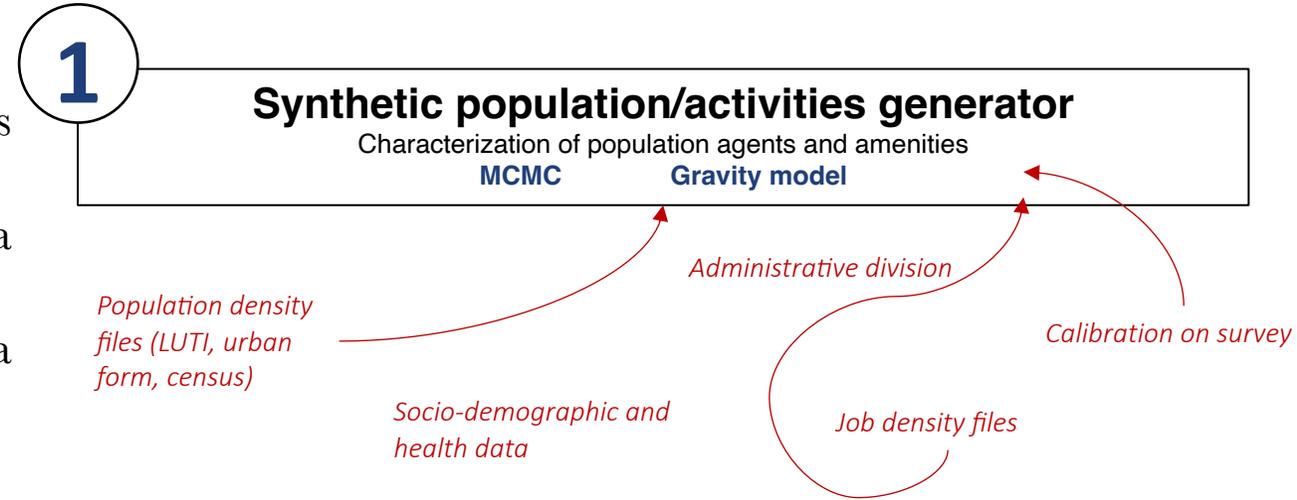
Plateforme de modélisation

Génération de 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
- Générateur basé sur les probabilités conditionnelles.
- Recensement de population détaillé (IRIS)

Caractéristiques

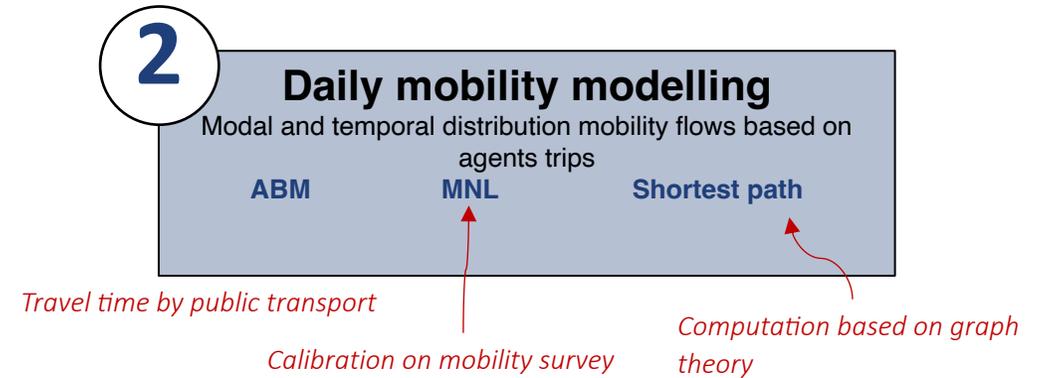
- Taille et type de ménage (seul, couple, famille)
- Caractéristiques des individus (âge, sexe, revenu, activité...)
- Génération de la population
- Répartition des ménages dans les logements



Plateforme de modélisation

Comment modéliser les comportements de mobilité socio-différenciés ?

- Modèle de demande de transport basé sur les activités (ABTDM)
- Agenda (activités, horaire, durée)
- Lieu
- Choix modal (Logit multinomial)

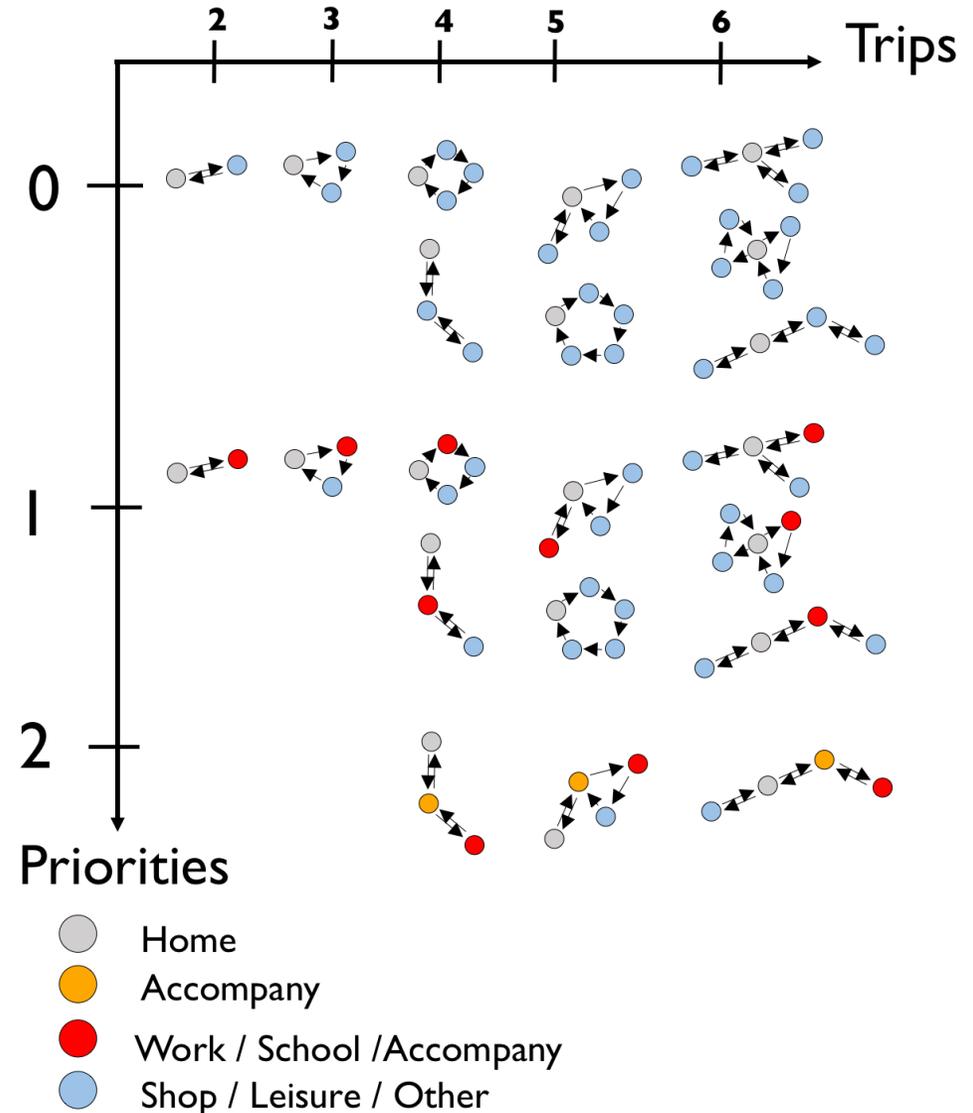


Plateforme de modélisation

Modèle de demande de transport basé sur les activités

Modèles prédictifs axés sur les activités quotidiennes des individus et les choix de déplacement associés. Prise en compte de multiples facteurs dont :

- Les activités individuelles et leurs interrelations : travail, école, loisirs, achats, etc.
- Les contraintes temporelles : horaires de travail, heures d'ouverture des établissements, disponibilité des services de transport, etc., ainsi que leurs effets sur les choix de mobilité
- Les contraintes spatiales : distance entre les activités, densité de population, infrastructure de transport existante, etc., et leur impact sur les décisions de déplacement
- Les préférences et comportements individuels : choix du mode de transport, sensibilité aux temps de trajet, flexibilité dans la planification des activités, etc., et leurs implications sur les schémas de mobilité.

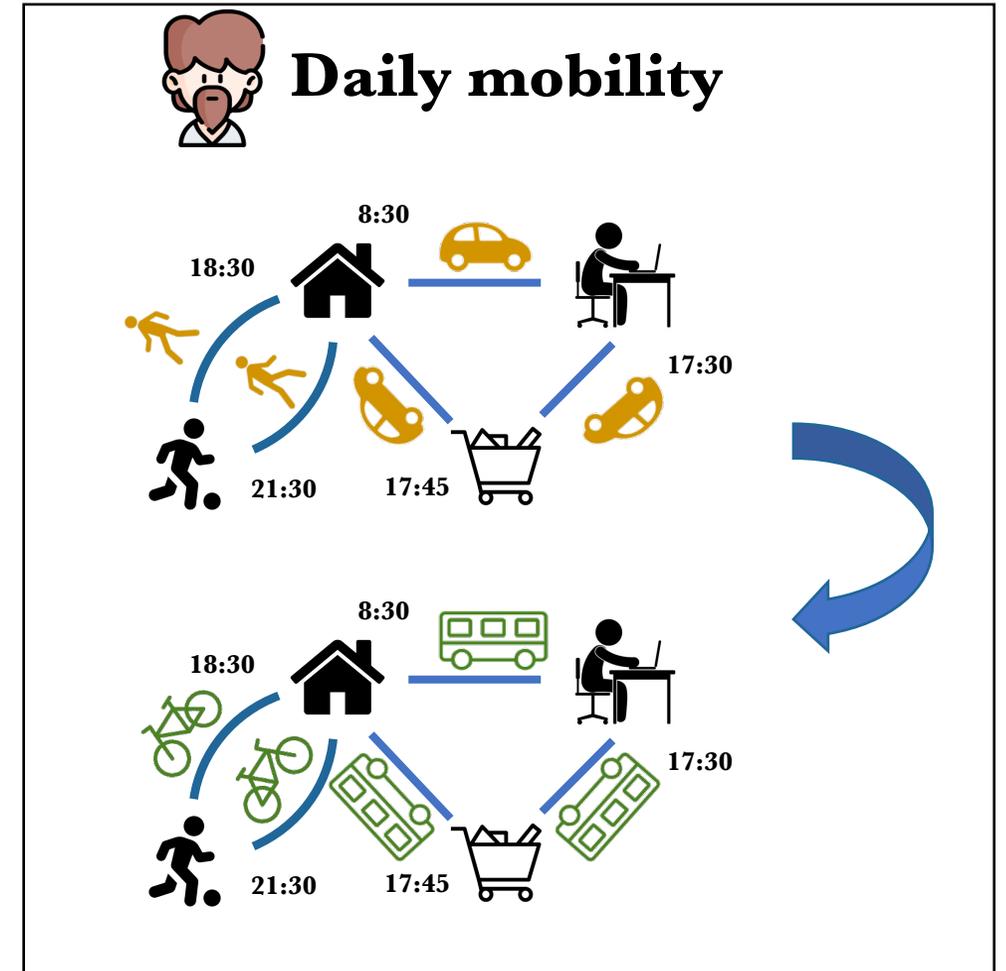


Plateforme de modélisation

Modèle de demande de transport basé sur les activités

Modèles prédictifs axés sur les activités quotidiennes des individus et les choix de déplacement associés. Prise en compte de multiples facteurs dont :

- Les activités individuelles et leurs interrelations : travail, école, loisirs, achats, etc.
- Les contraintes temporelles : horaires de travail, heures d'ouverture des établissements, disponibilité des services de transport, etc., ainsi que leurs effets sur les choix de mobilité
- Les contraintes spatiales : distance entre les activités, densité de population, infrastructure de transport existante, etc., et leur impact sur les décisions de déplacement
- Les préférences et comportements individuels : choix du mode de transport, sensibilité aux temps de trajet, flexibilité dans la planification des activités, etc., et leurs implications sur les schémas de mobilité.



Plateforme de modélisation

3

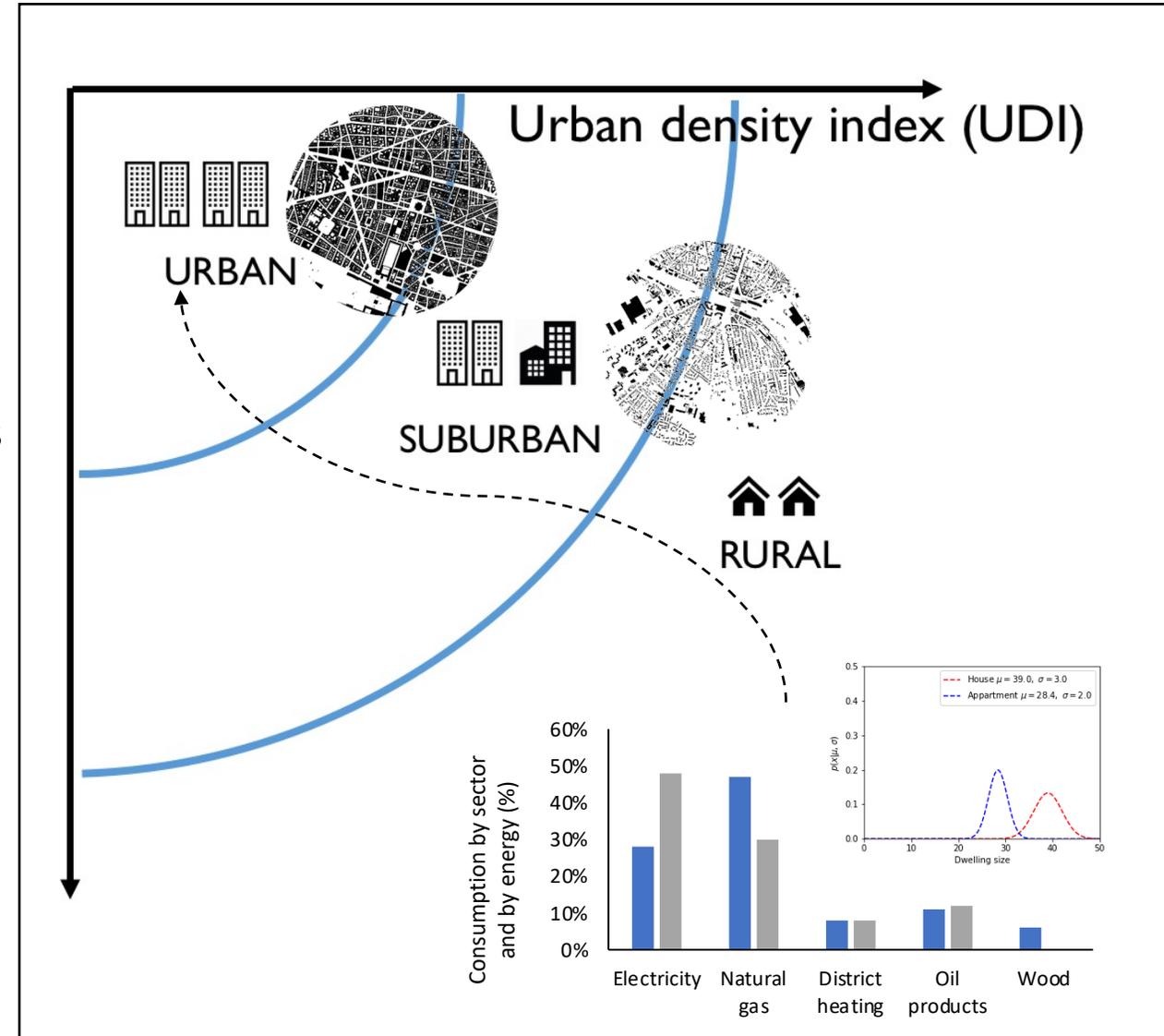
Building energy demand

Households yearly energy consumption
Monte-Carlo

Type of housing
Energy mix heating and water

Modélisation de la demande énergétique des bâtiments

- Type de zone (centre urbain, urbain, suburbain, rural)
- Consommation d'énergie du secteur tertiaire, f(nombre d'employés)
- Consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, Type de logement (Ratio maison/appartement), Surface du logement (taille du ménage, surface, type de logement), Âge du bâtiment (avant 1975 / après 1975)
- Consommation totale (surface, ménages)
- Correction climatique, degrés-jours unifiés (DJU)



Plateforme de modélisation

Simuler une reconstruction des tournées de livraison dans la zone urbaine en respectant :

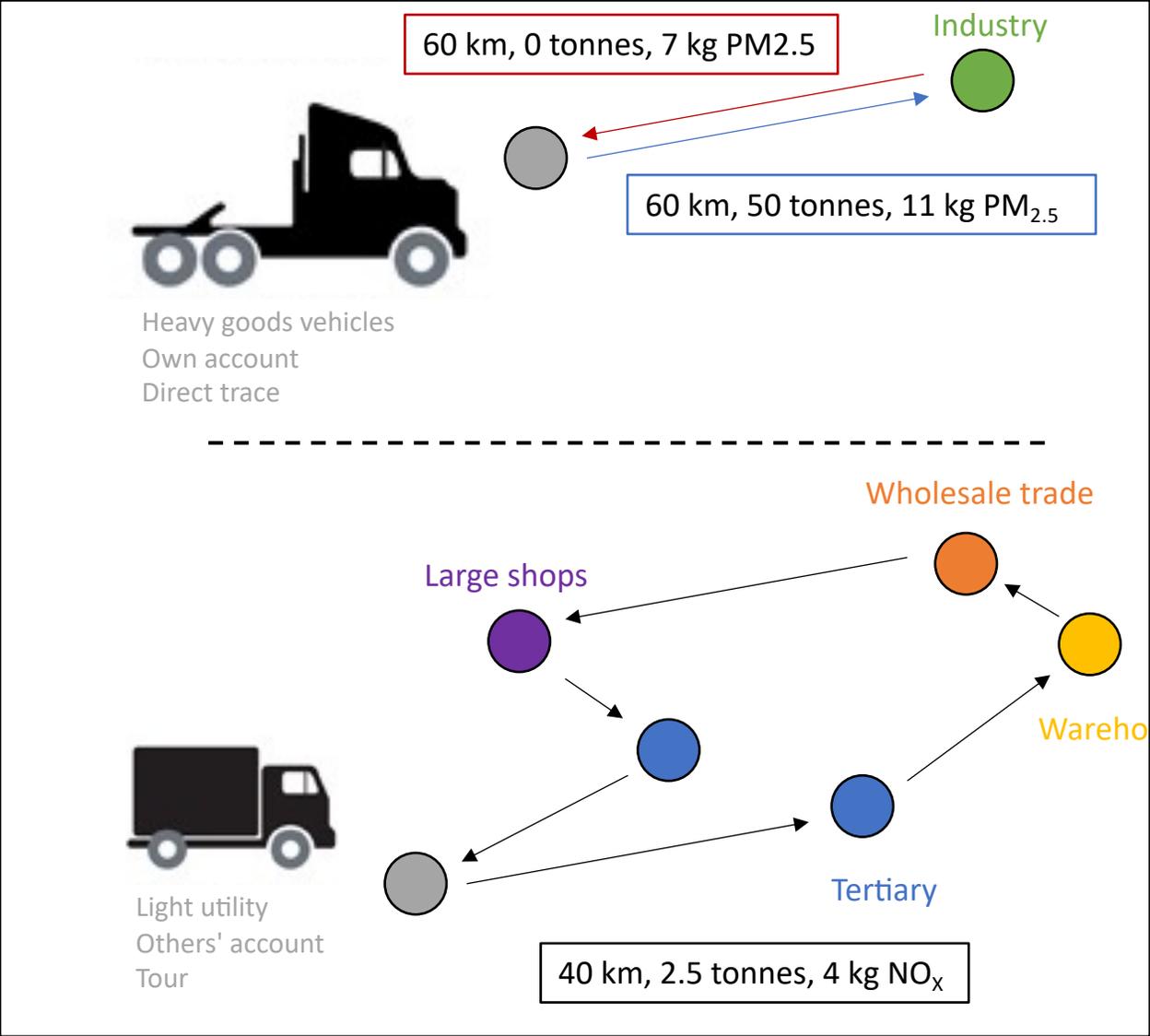
- (1) Répartition des mouvements par type de véhicule, mode d'organisation et taille de la tournée.
- (2) Répartition des mouvements.
- (3) Les distances moyennes entre 2 arrêts.
- (4) La localisation des établissements livrés.
- (5) Les heures de départ des tournées.



Plateforme de modélisation

Simuler une reconstruction des tournées de livraison dans la zone urbaine en respectant :

- (1) Répartition des mouvements par type de véhicule, mode d'organisation et taille de la tournée.
- (2) Répartition des mouvements.
- (3) Les distances moyennes entre 2 arrêts.
- (4) La localisation des établissements livrés.
- (5) Les heures de départ des tournées.



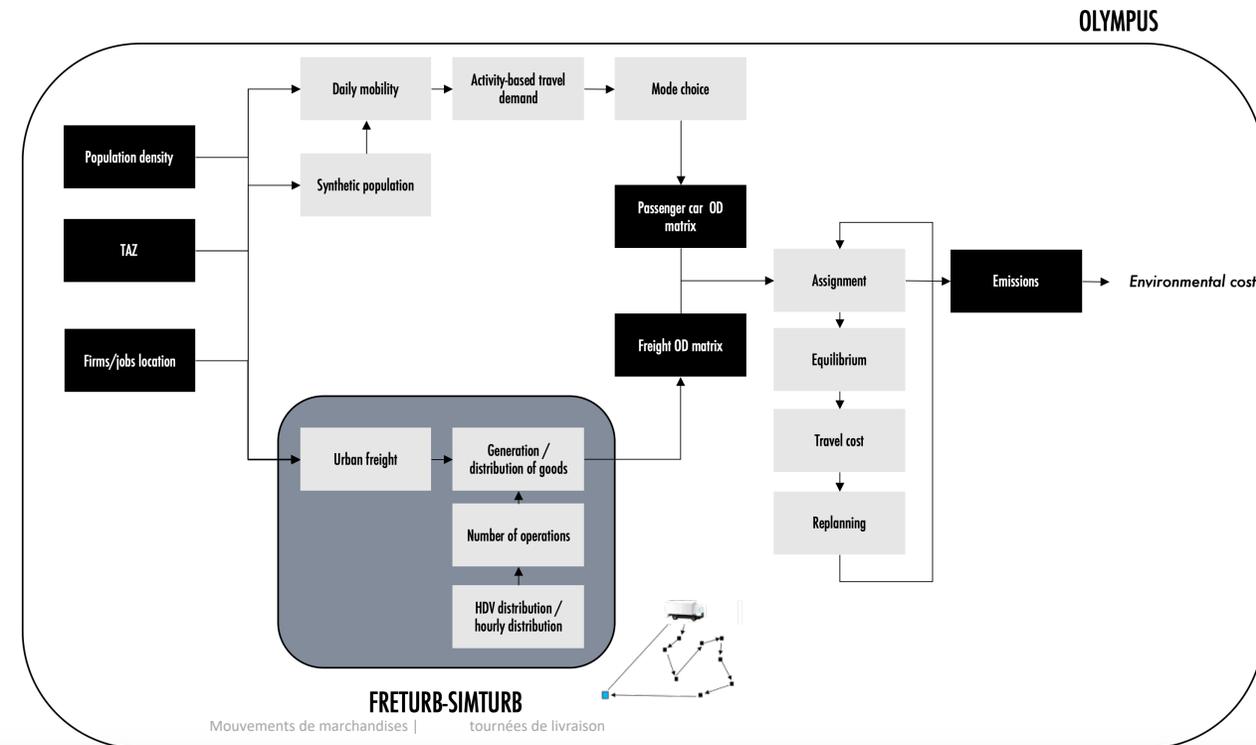
Plateforme de modélisation

Simuler une reconstruction des tournées de livraison dans la zone urbaine en respectant :

- (1) Répartition des mouvements par type de véhicule, mode d'organisation et taille de la tournée.
- (2) Répartition des mouvements.
- (3) Les distances moyennes entre 2 arrêts.
- (4) La localisation des établissements livrés.
- (5) Les heures de départ des tournées.

FRETURB-SIMTURB

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



Plateforme de modélisation

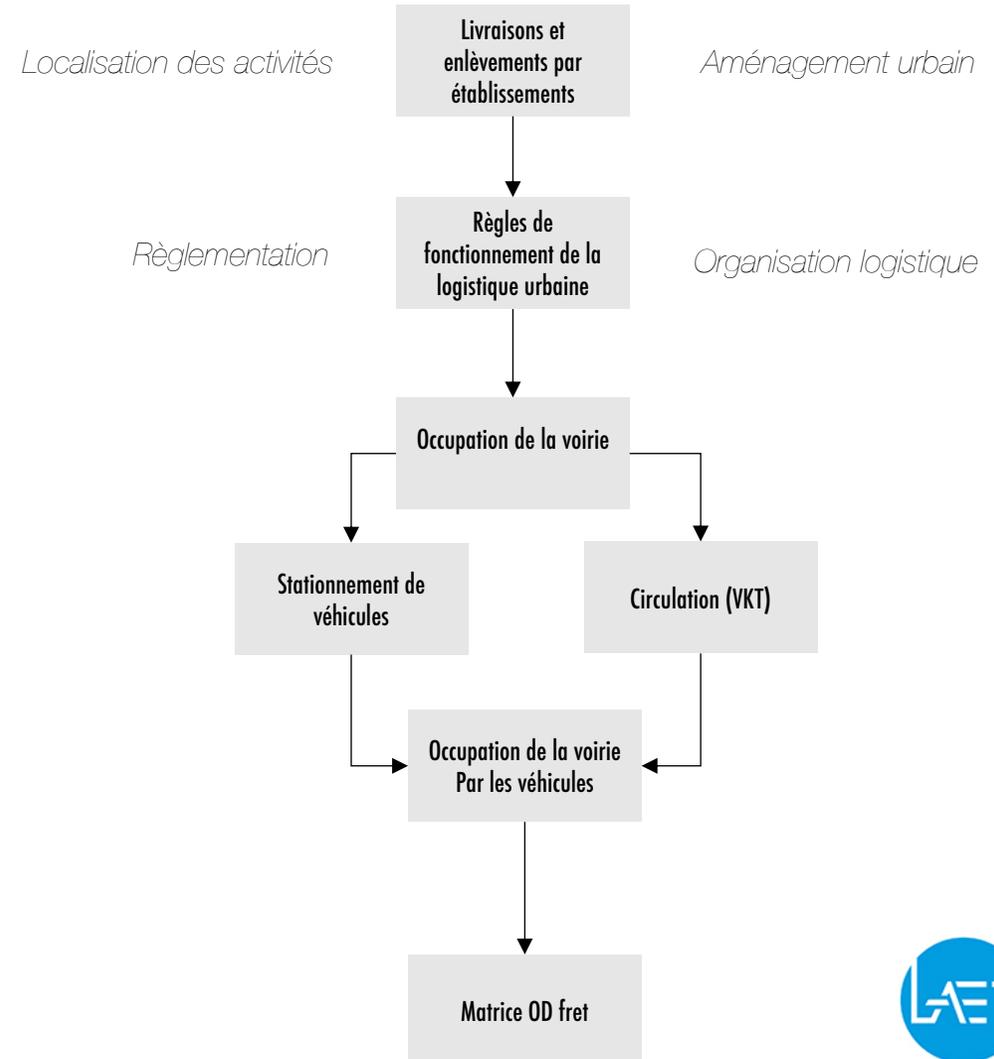
Modèle FRETURB

Données d'entrée

- Base de données SIRENE
- Fichier de caractéristiques géographiques

Fonctionnement

- Génération des échanges inter-établissements
- Génération des déplacements d'achats des ménages
- Occupation de la voirie par les véhicules de livraison en stationnement
- Occupation de la voirie par les véhicules de livraison en circulation
- Occupation instantanée de la voirie



Plateforme de modélisation

Modèle SIMTURB

Méthodologie

- Importation des bases de données FRETURB
- Désagrégation des données FRETURB
- Génération de matrice origine-destination
- Chaîne de Markov
- Affection des mouvements à un type d'activité ST8
- Kilomètres parcourus
- Distance à vol d'oiseau pondérées
- Optimisation des tournées
- Autour d'une distance moyenne

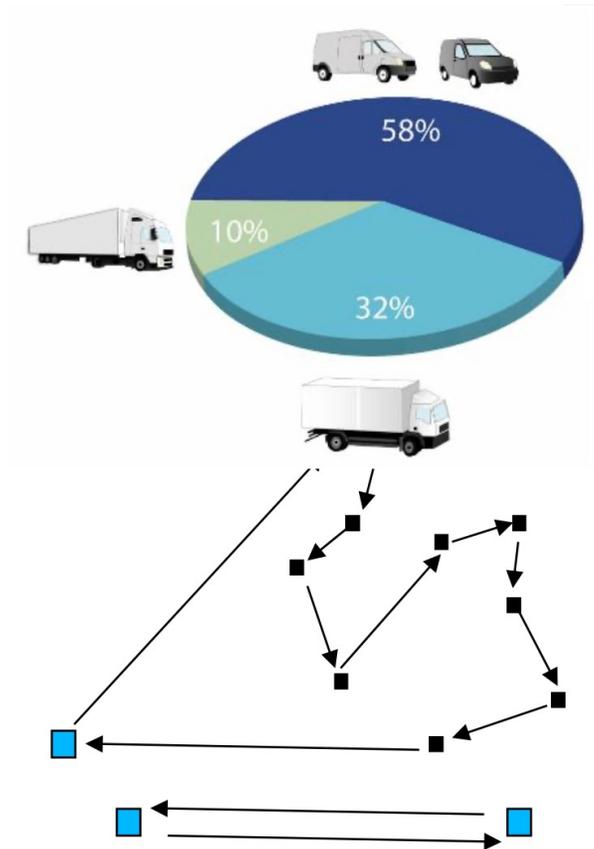
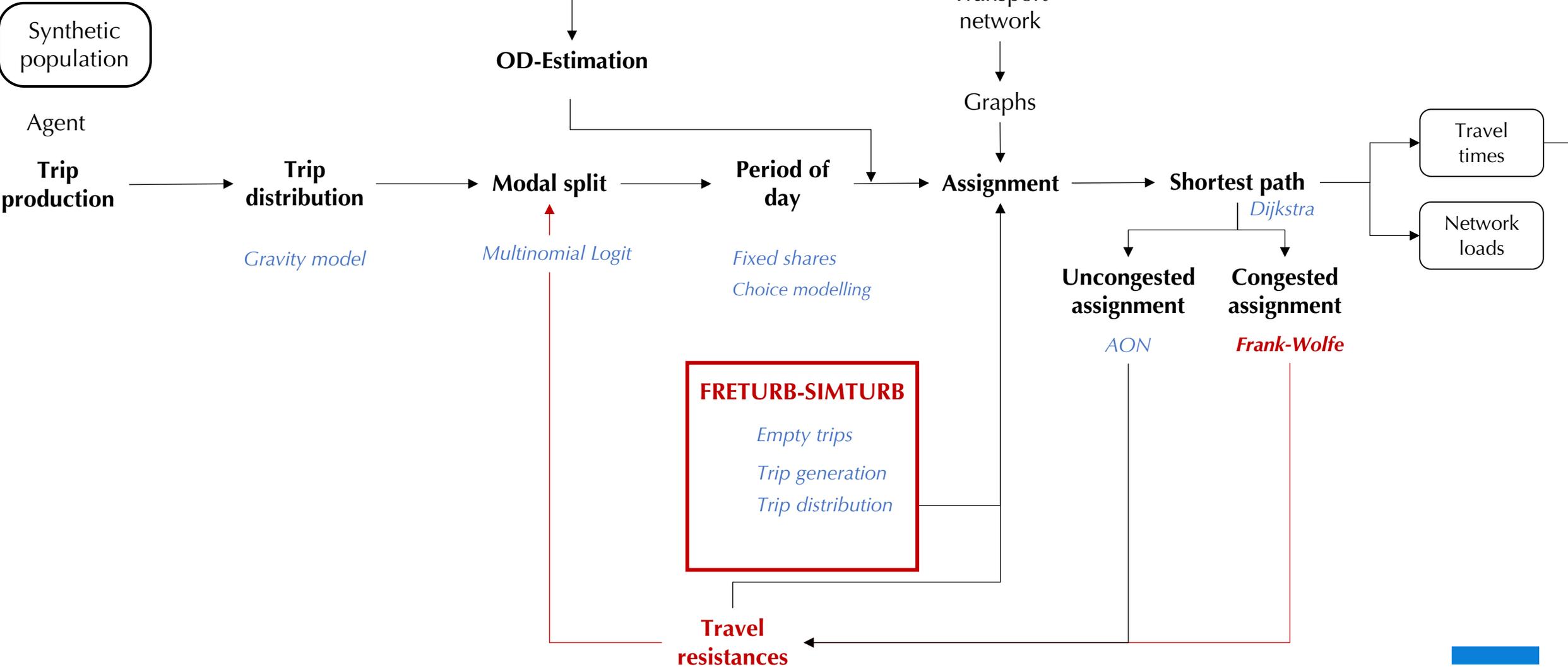


Schéma simplifié des principales sorties du modèle SIMTURB

Plateforme de modélisation

Couplage OLYMPUS-SIMTURB



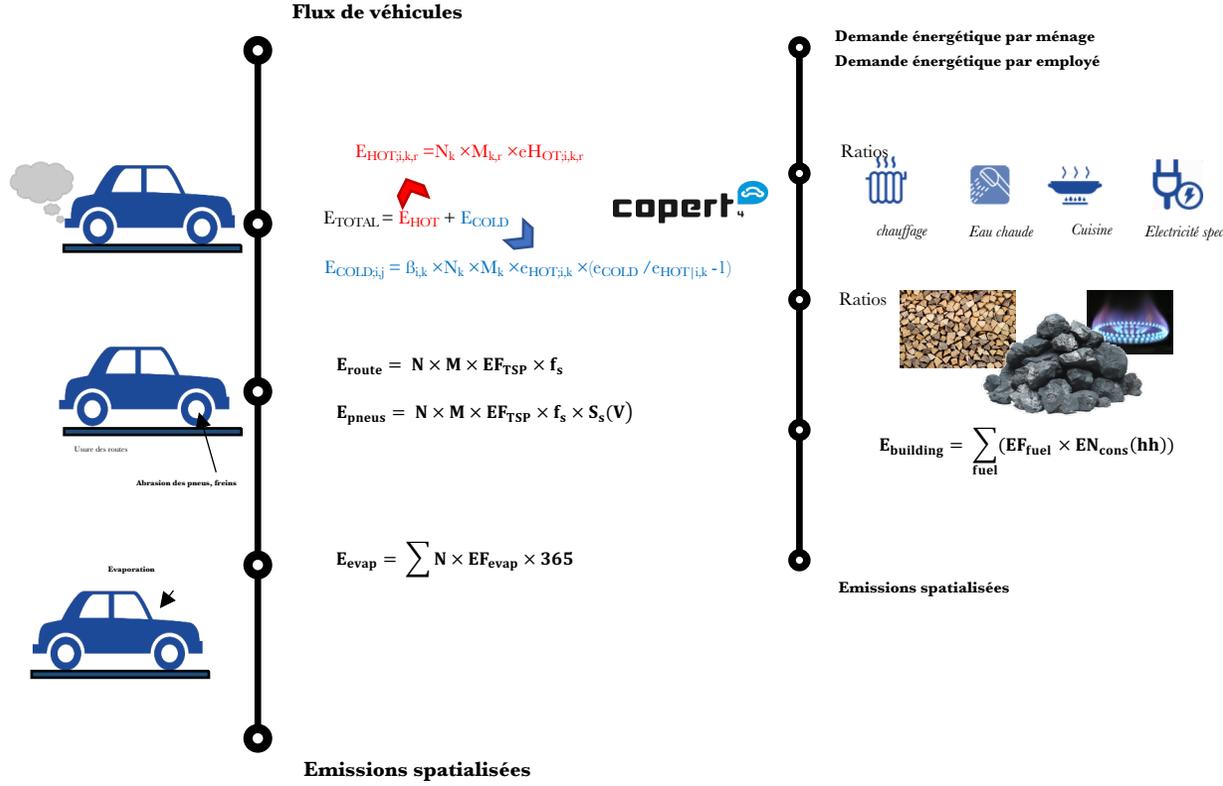
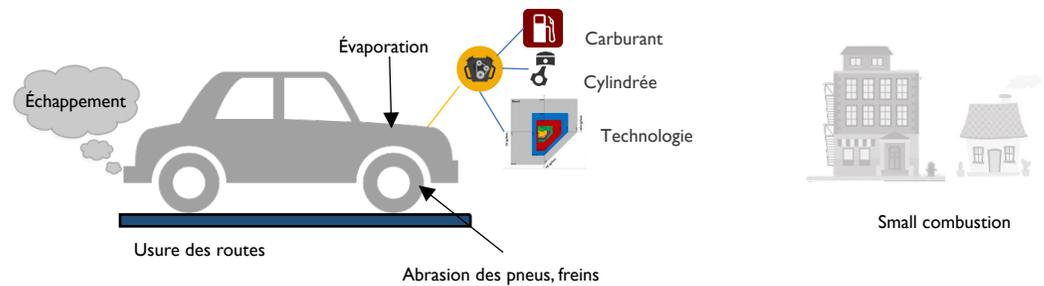
Plateforme de modélisation

5 Emissions
 Air pollutant and GHGs emissions from road transport and residential/commercial sectors
EEA COPERT Kubica

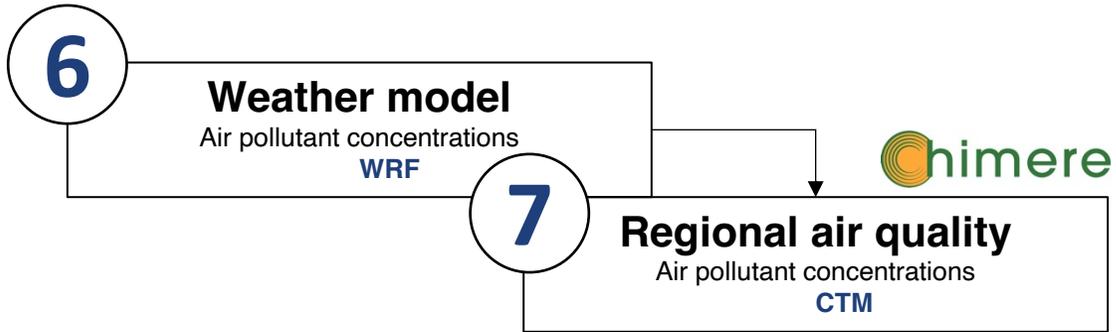
*Fleet of vehicles on the road
 Small combustion fleet*

Modélisation des émissions provenant du transport routier et de la petite combustion

- Modélisation des émissions du transport routier
- Émissions de gaz d'échappement, abrasion, évaporation
- Modélisation de la combustion dans le secteur résidentiel et tertiaire
- Poêles, cheminées, chaudières, cuisines

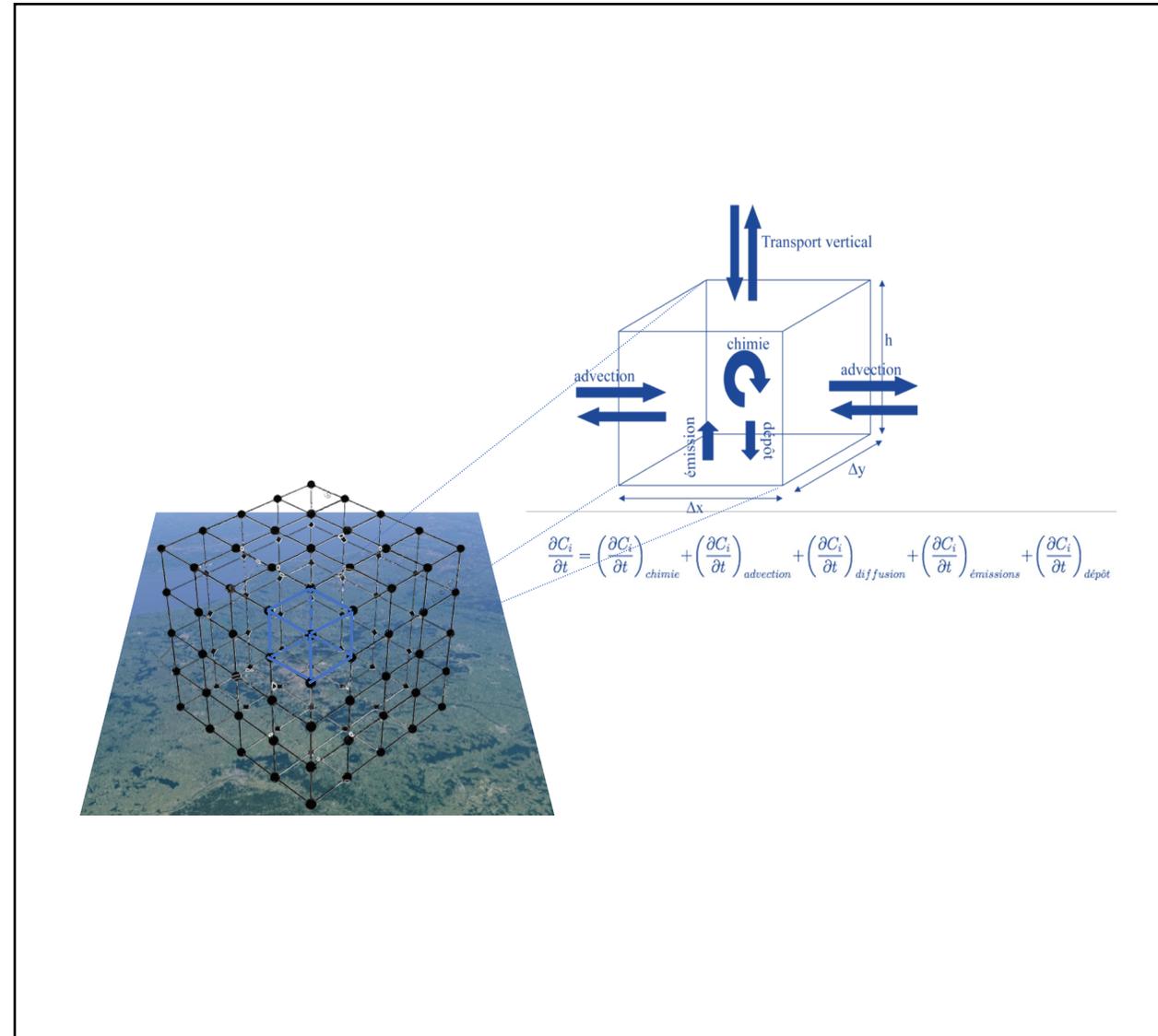


Plateforme de modélisation



Modèle eulérien de chimie et de transport (CTM)

- Calculer à chaque pas de temps ΔC dans chaque case
- Prédiction et analyse de la qualité de l'air
- Pilotées par les données météorologiques WRF



Plateforme de modélisation

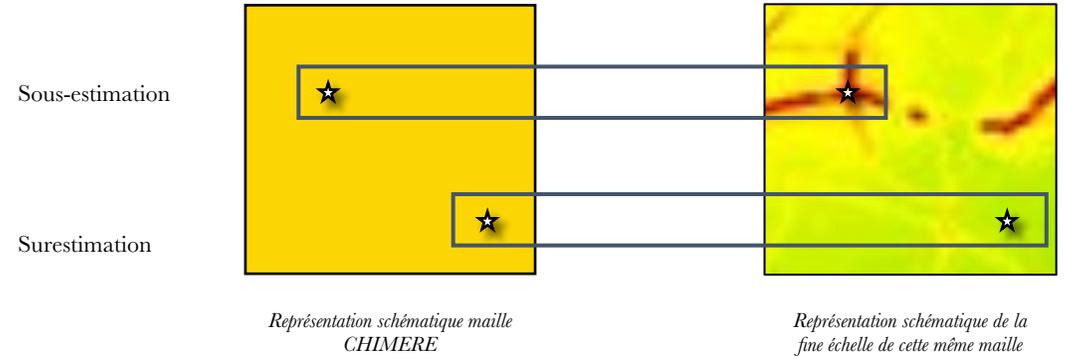
8

Local air quality

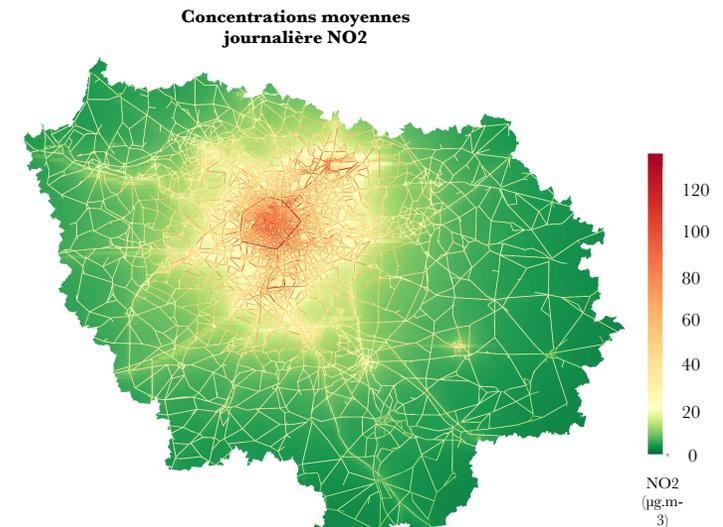
Air pollutant concentrations downscalled
Fluid dynamic Regression Street canyon

Approche statistique

- Comparaison des modèles et des mesures → Équation de correction → Minimisation des erreurs
- Apprentissage (coefficients α et β spécifiques au site)
- Généralisation (prédiction de α et β sans comparaison avec la mesure)



$$C_{prox} = \left[[(C_{fond} * \alpha) * (1 + (1 * CV))] + [(C_{local} * \beta) * (1 + (4 * CV))] \right]$$



Plateforme de modélisation

9

Exposure

Population exposure to air pollutant concentrations downscaled
Time geography

Données de mobilité
OLYMPUS

Exposition dynamique

OLYMPUS

Agenda de mobilité

Trajets détaillés des individus

| Agent | Mode de transport | Horaire | Durée | IRIS origine | Identifiant de route | Type de TC |
|-------|-------------------|---------|-------|--------------|----------------------|------------|
| | | | | | | |

CONCENTRATIONS

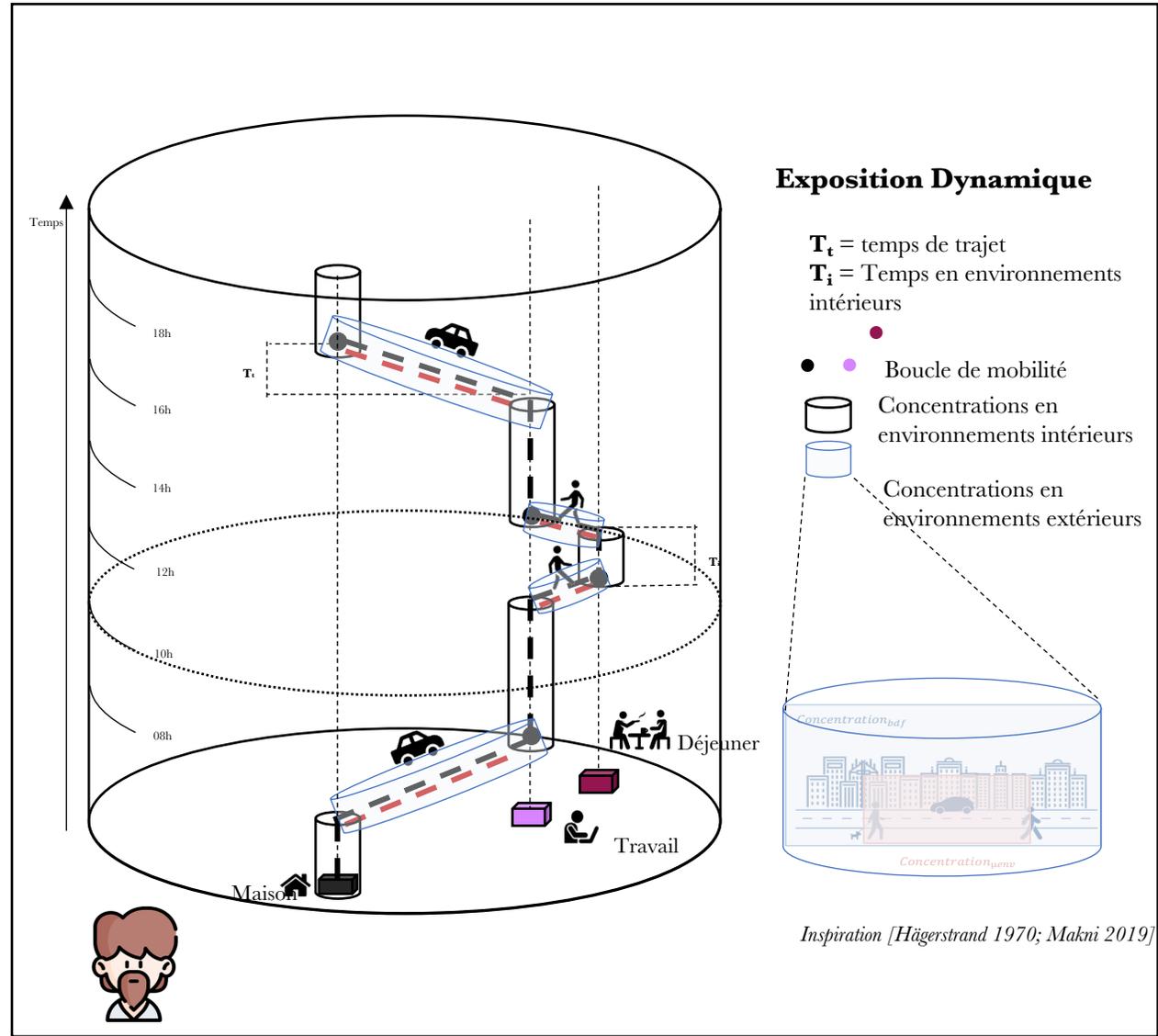
| Voiture | | | Marche | | | Déplacement Bus | | | Transport en commun | | |
|--|------|-------|---|------|-------|---|------|-------|----------------------------------|------|-------|
| Concentrations* horaires de proximité sur les tronçons de routes | | | Moyenne des concentrations* horaires de proximité | | | Moyenne des concentrations de proximité de l'IRIS dans lequel a lieu le trajet en bus | | | Concentrations de la littérature | | |
| Identifiant de route | NO2* | PM10* | Code IRIS | NO2* | PM10* | Type de TC | NO2* | PM10* | Type de TC | NO2* | PM10* |
| | | | | | | Métro | 40 | 270 | RER/Train | 40 | 220 |
| | | | | | | Tram | 30 | 30 | Correspondances souterraines | 55 | 190 |
| | | | | | | Correspondances de surface | ** | ** | | | |

X Coefficients d'abattement

| Polluant | Coefficients |
|----------|--------------|
| NO2 | 0,82 |
| PM10 | 1,07 |

* En (µg/m³)

** Concentration moyenne horaire sur la région (µg/m³)



APPLICATION SUR L'ILE DE FRANCE



Application sur l'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

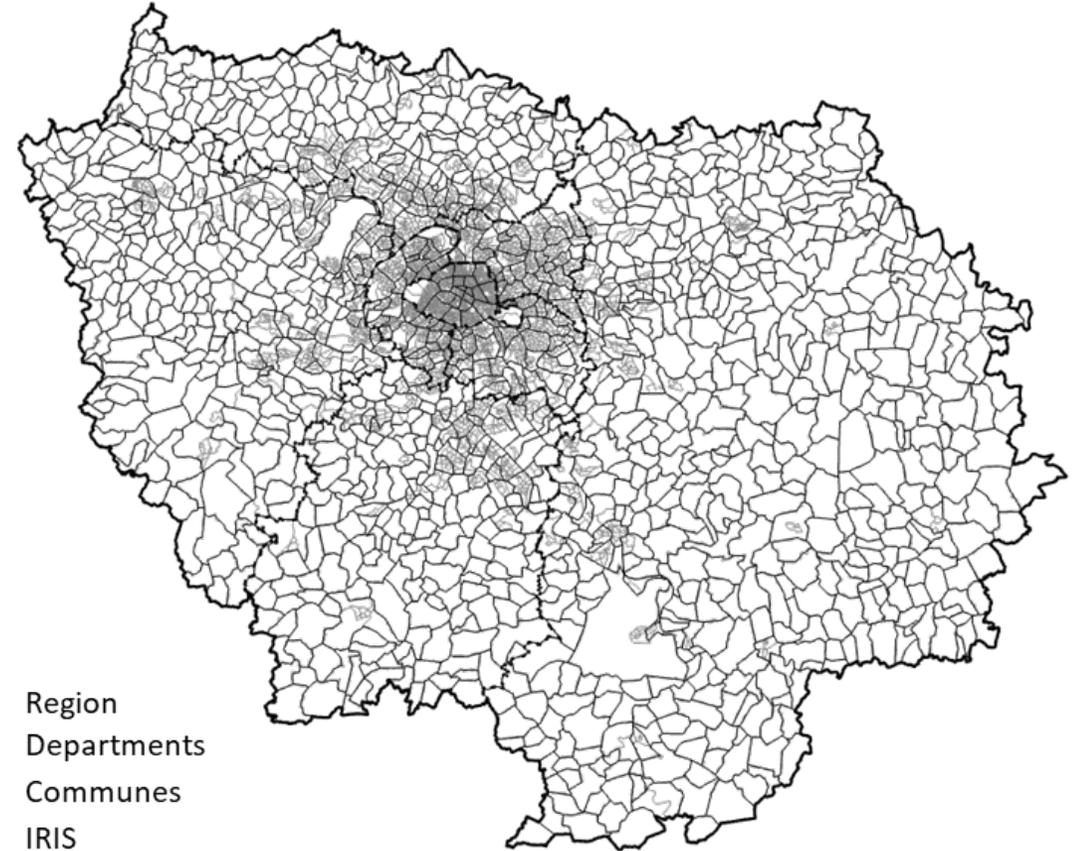
Agents

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



Application sur l'Ile-de-France

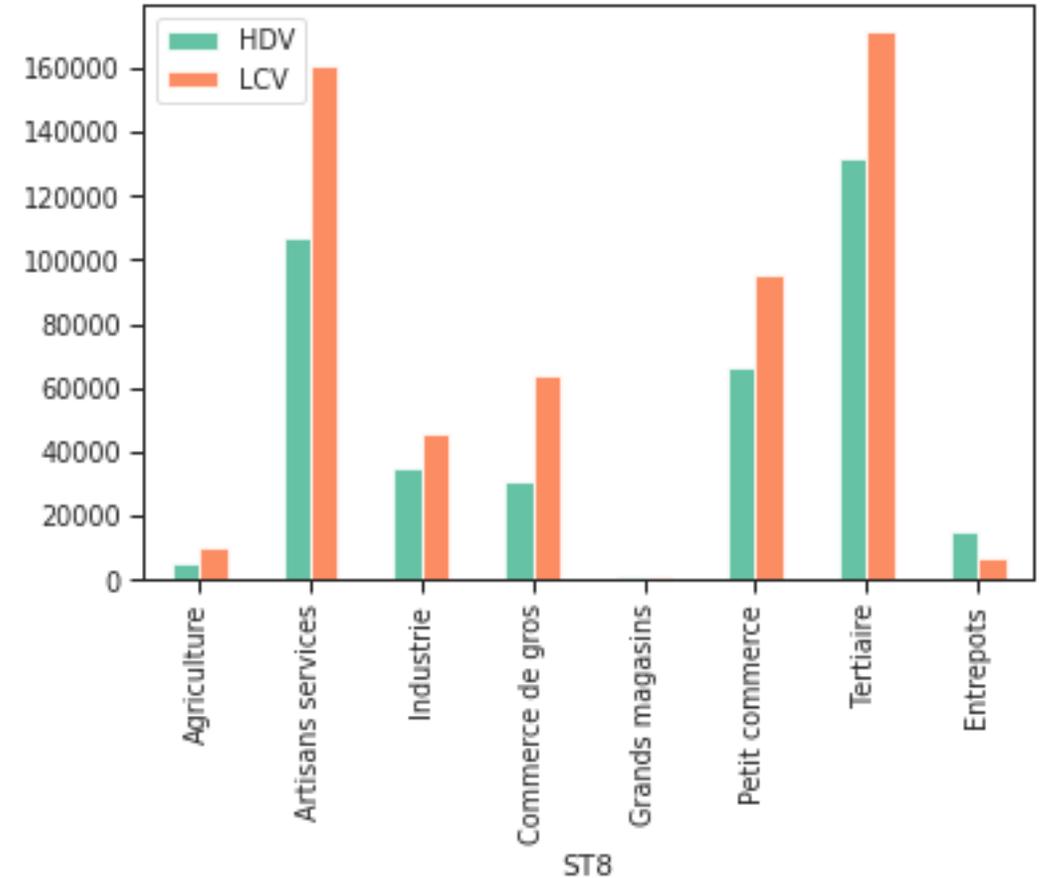
Quelques données d'entrée

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.

Application sur l'Ile-de-France

Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

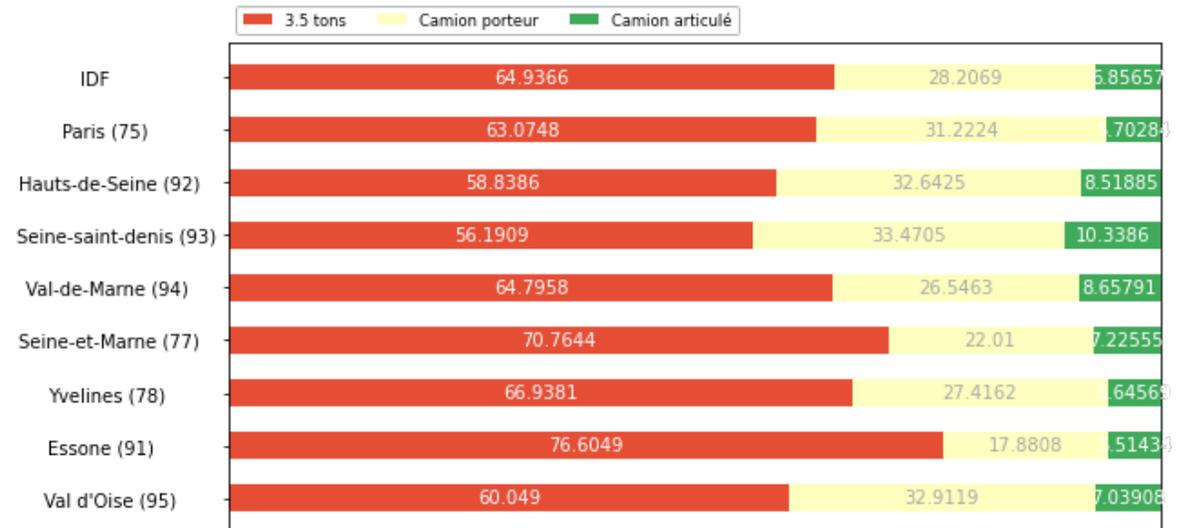
67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

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.



Application sur l'Ile-de-France

Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

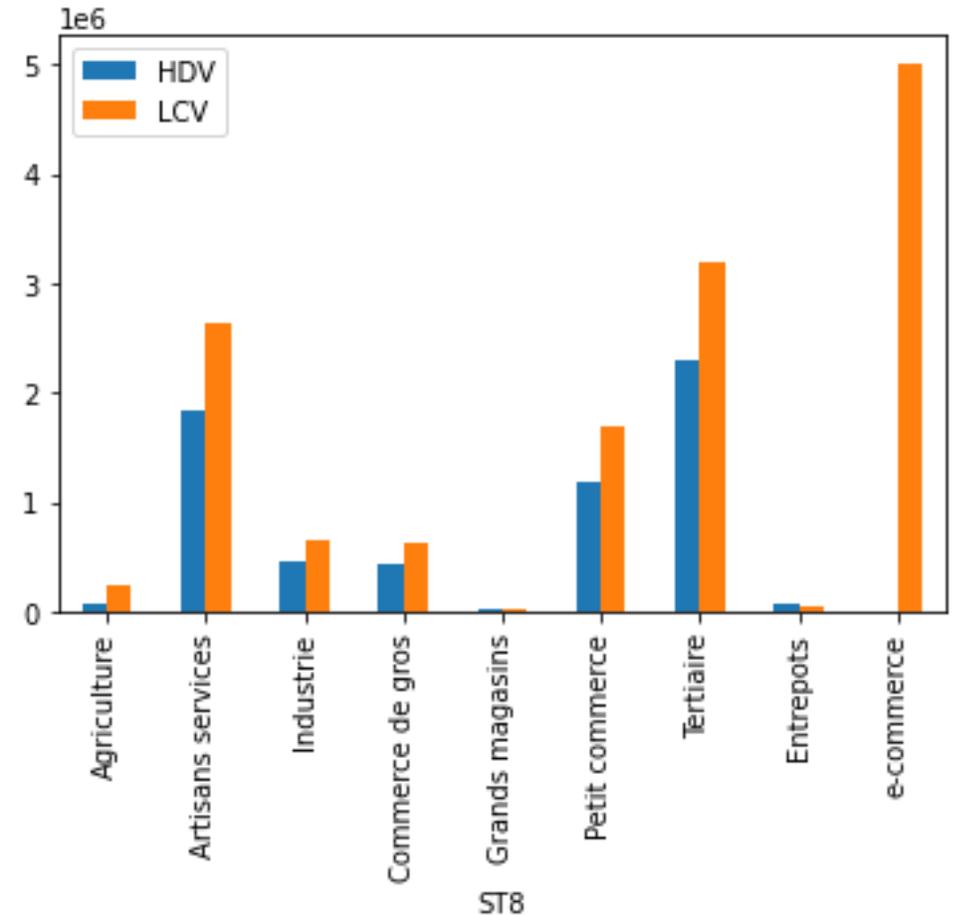
67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

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.

Application sur l'Ile-de-France

Statistiques sur le TMV (FRETURB-SIMTURB)

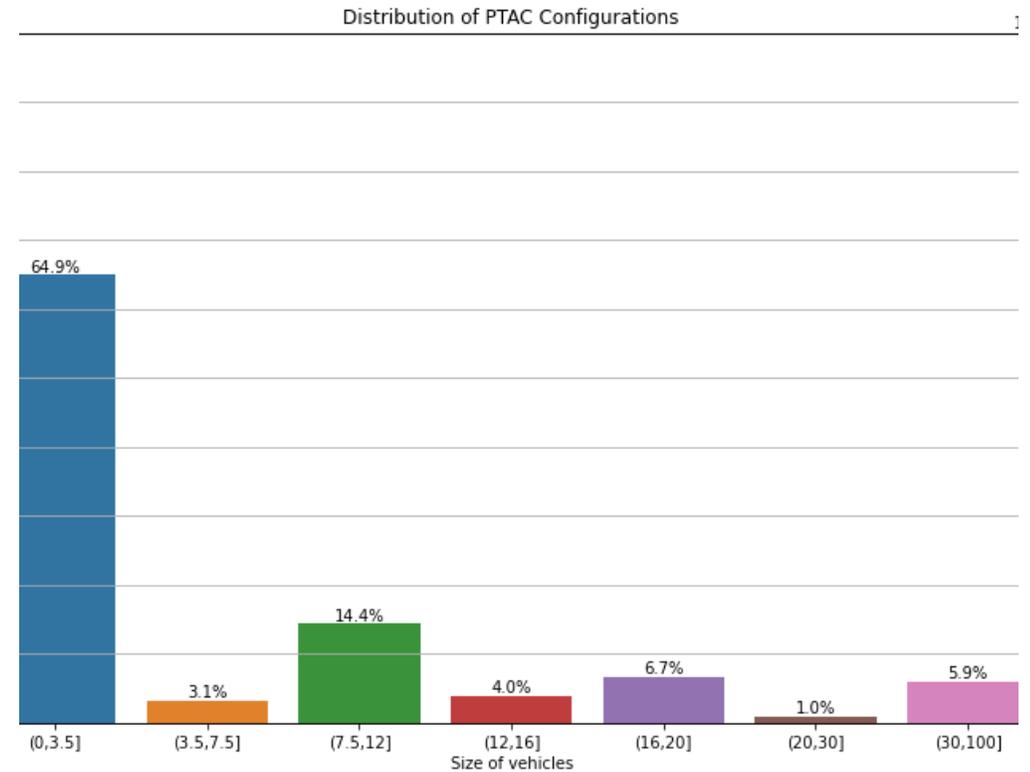
67.6 % des mouvements sont réalisés en trace directe (TD) et 32.4 % en tournée.

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.



Application sur l'Ile-de-France

Statistiques sur le 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

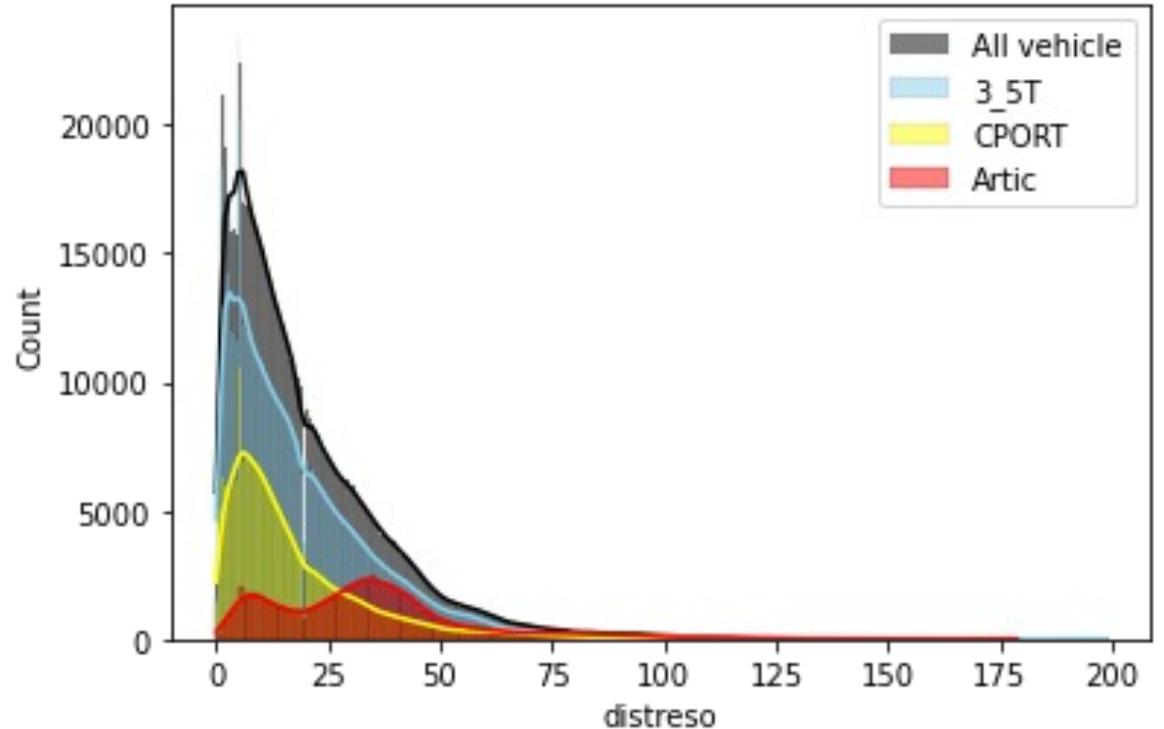
202 839 tournées (journalières) enregistrées dans cette base de données.

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

Distribution des PTAC non linéaire.

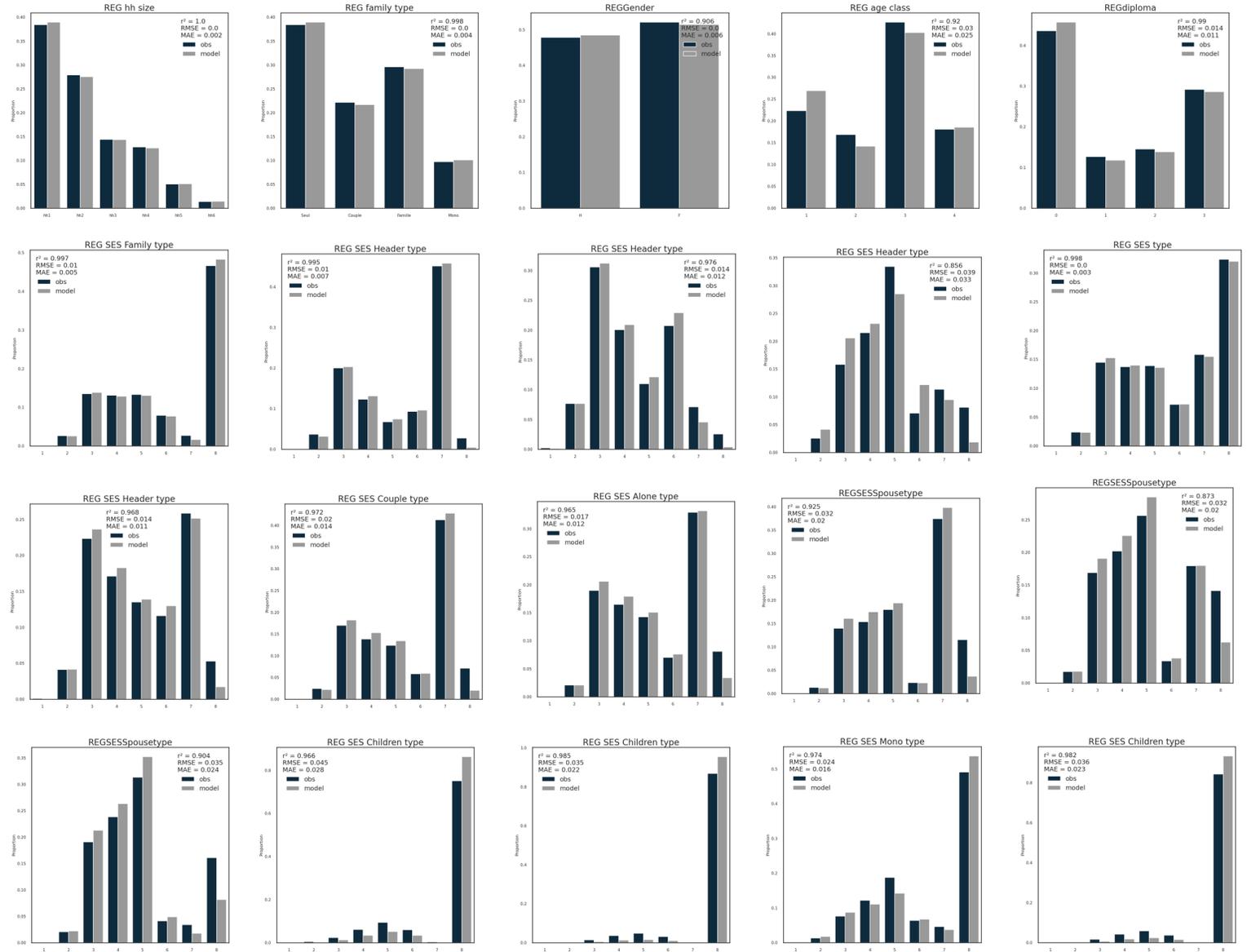
Distribution horaire des tournées variable (VUL/PL)

Variabilité des distances totales parcourues



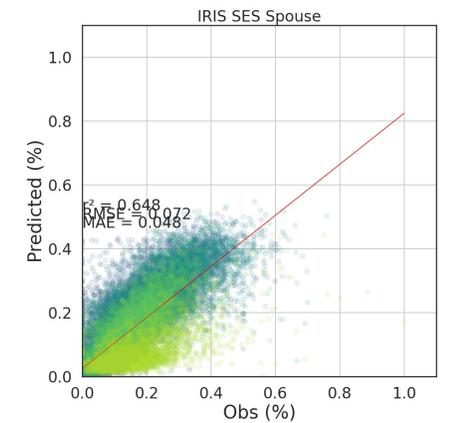
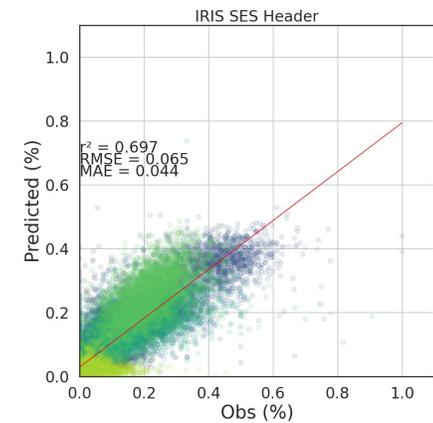
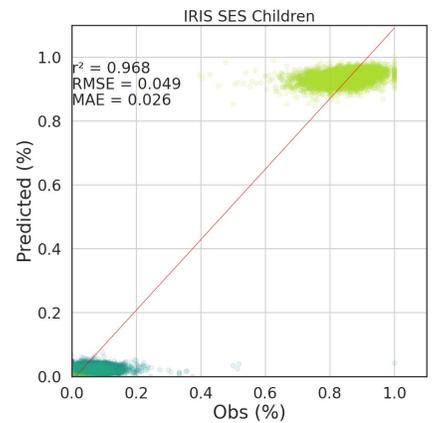
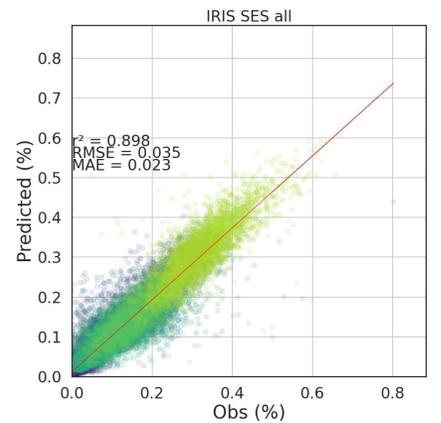
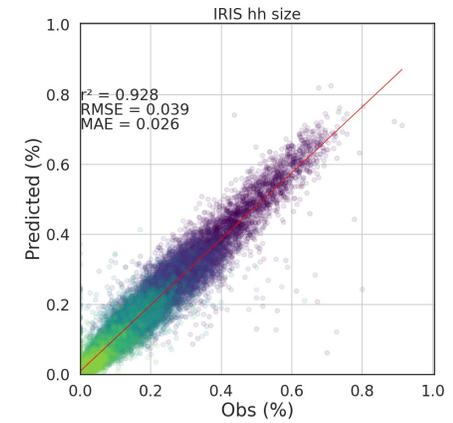
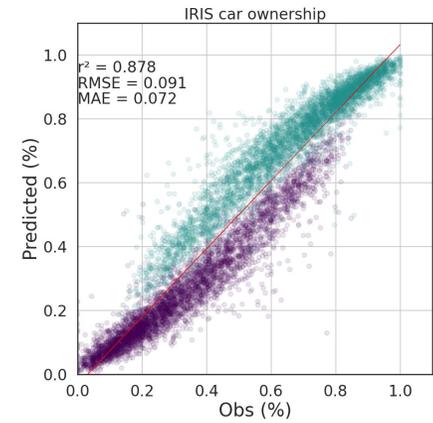
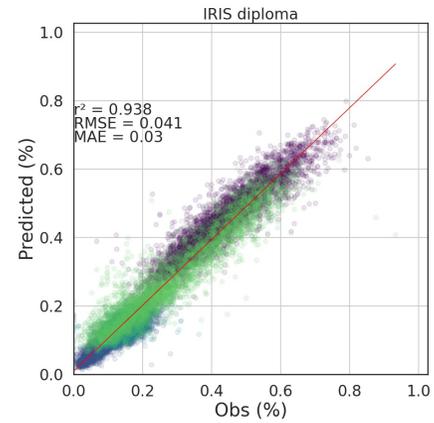
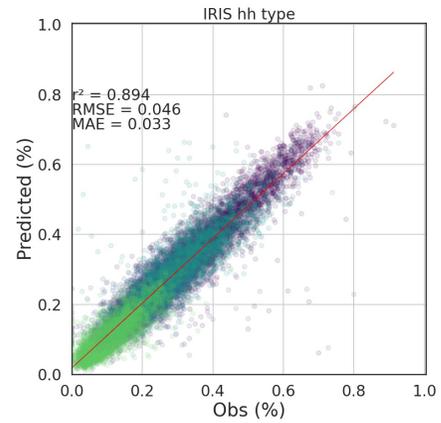
Application sur l'Île-de-France

Population synthétique



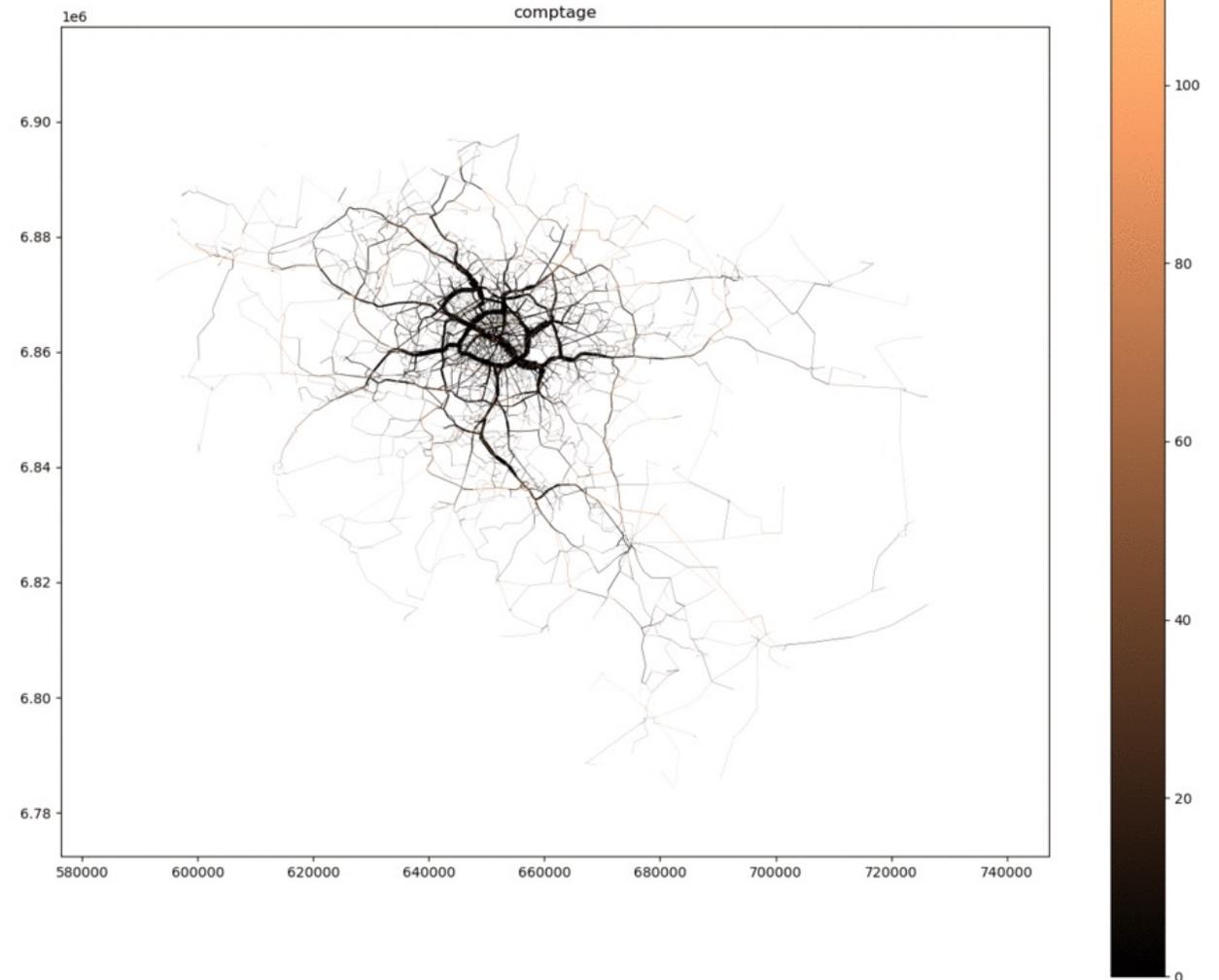
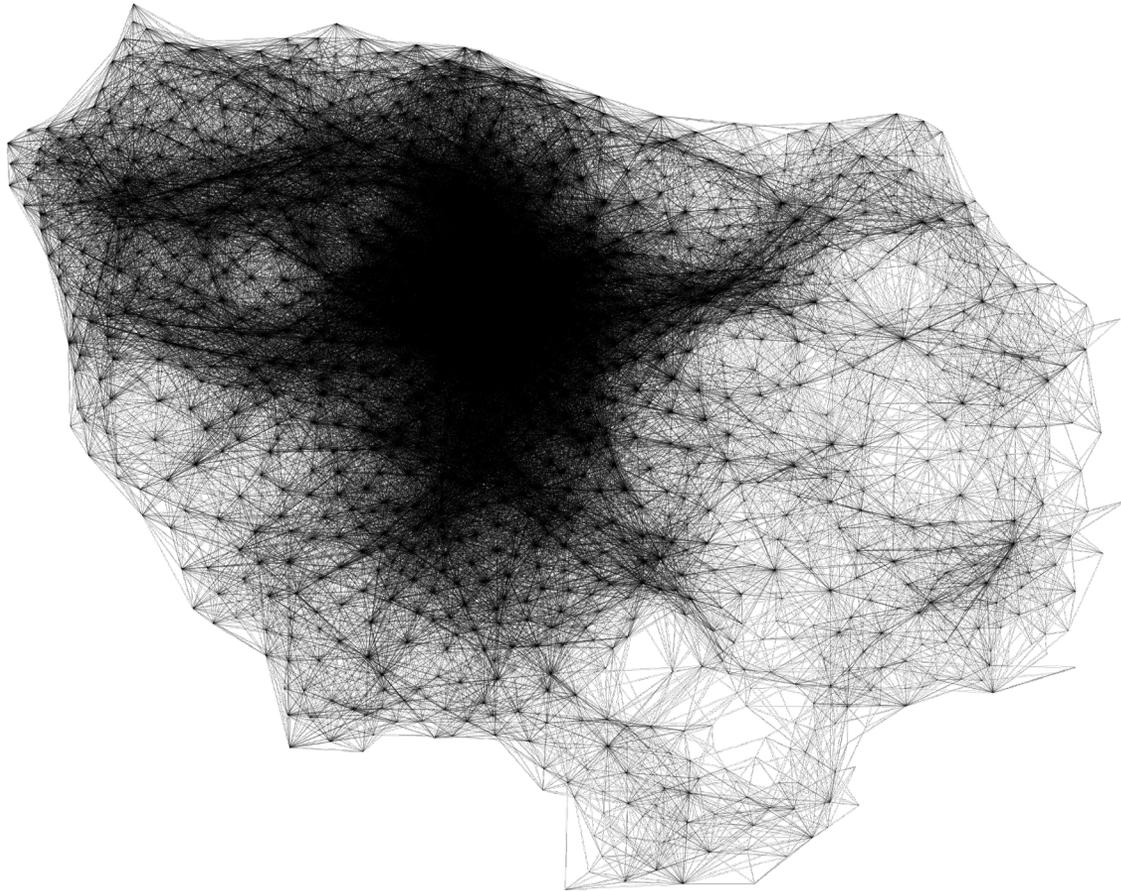
Application sur l'Île-de-France

Population synthétique



Application sur l'Ile-de-France

Mobilité



Flux de déplacements de passagers (OD) interzones en Ile de France

Application sur l'Ile-de-France

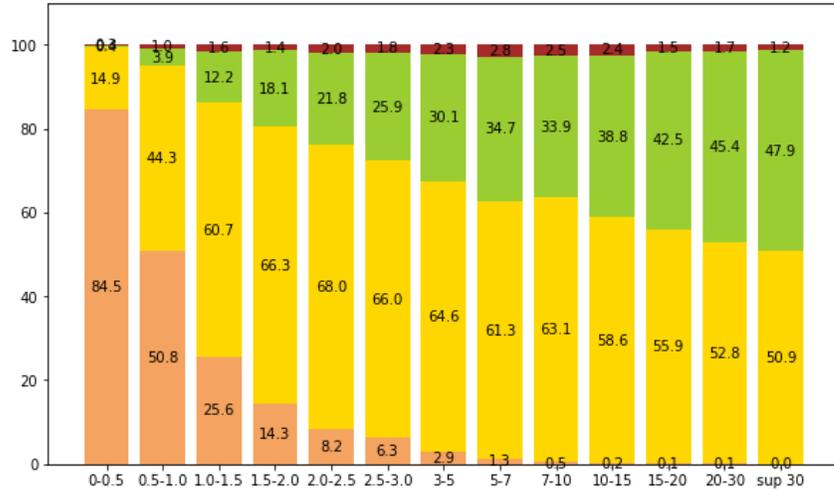
Mobilité

| | OLYMPUS | OMNIL | 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% |

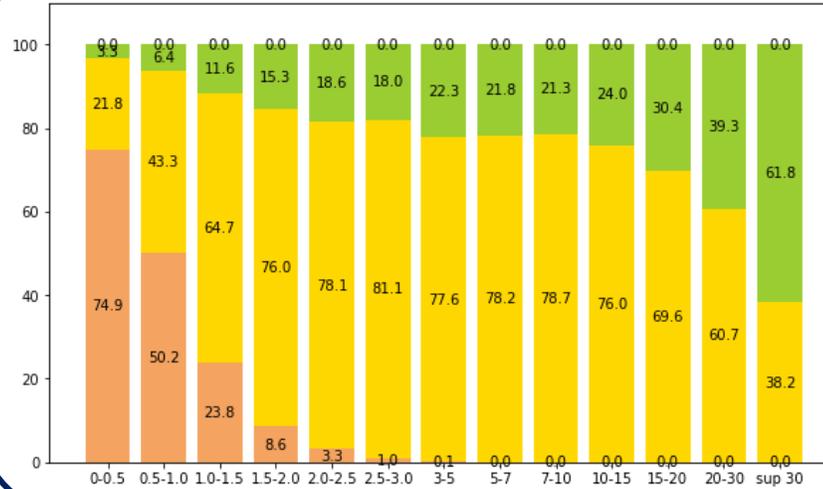
Application sur l'Île-de-France

Mobilité

EGT 2010



OLP



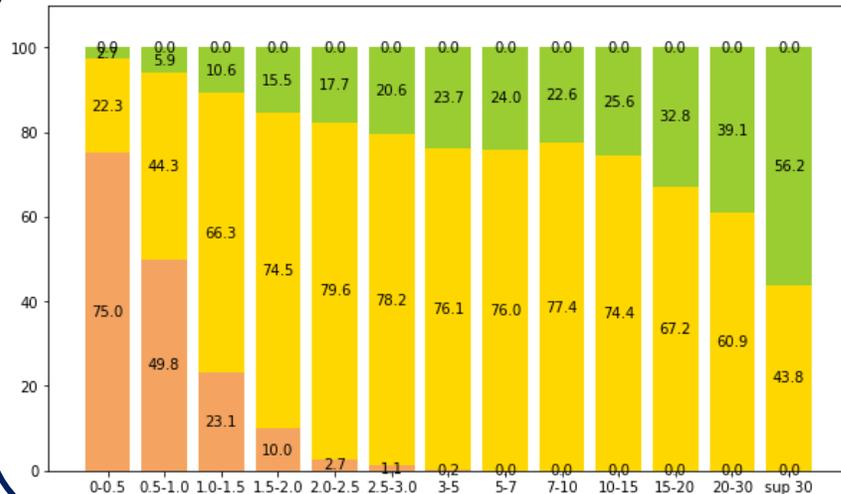
Modèle simple - Temps

$$U_{MAP} = \beta_1 \text{ Temps}$$

$$U_{VP} = \beta_2 \text{ Temps} + \beta_3 \text{ Parking}$$

$$U_{TC} = \beta_4 \text{ Temps} + \beta_5 \text{ Attente} + \beta_6 \text{ Marche}$$

OLP



Modèle plus complexe – Temps & motifs

$$U_{MAP} = \beta_1 \text{ Temps} + \beta_2 \text{ Genre}$$

$$U_{VP} = \beta_3 \text{ Temps} + \beta_4 \text{ Parking} + \beta_5 \text{ Genre} + \beta_{6-9} \text{ Motifs}$$

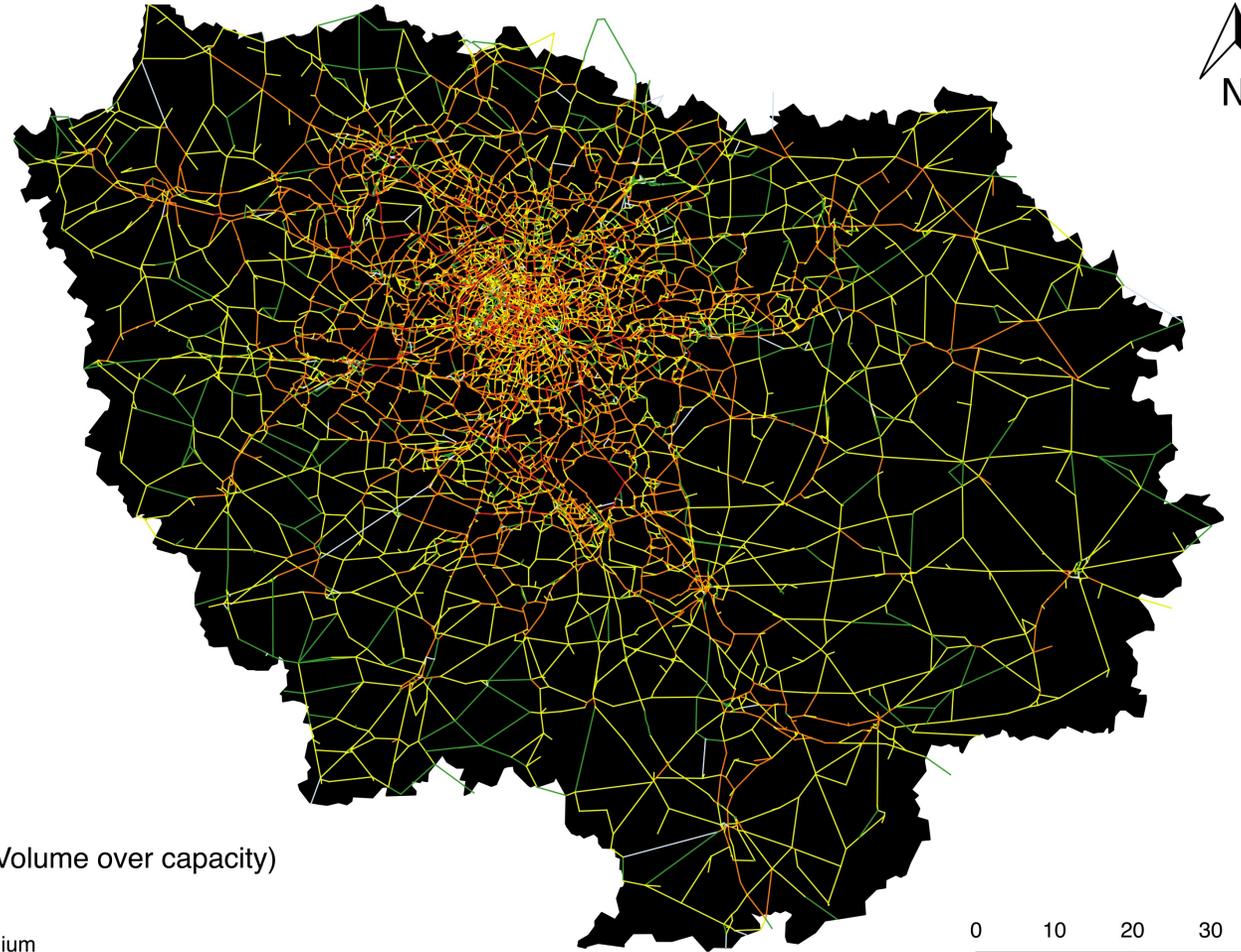
$$U_{TC} = \beta_{10} \text{ Temps} + \beta_{11} \text{ Attente} + \beta_{12} \text{ Marche} + \beta_{13-16} \text{ Motifs}$$

Motifs :

- ❖ Domicile – Travail
- ❖ Domicile – Étude
- ❖ Domicile – Autre
- ❖ Domicile - Accompagnement

Application sur l'Ile-de-France

Mobilité



VOC (Volume over capacity)

- Low
- Medium
- High

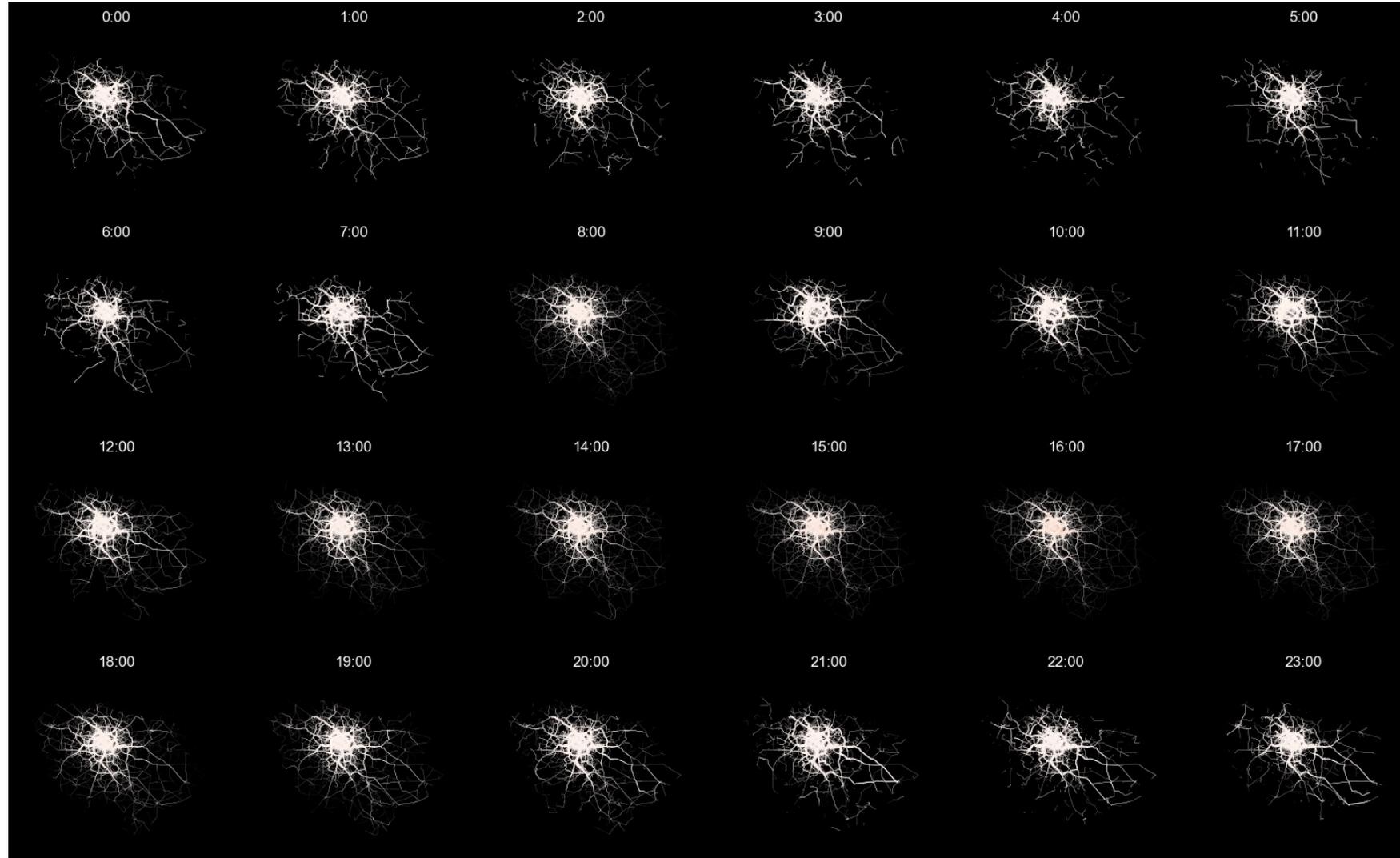
0 10 20 30 40 km

Application sur l'Île-de-France

Traffic

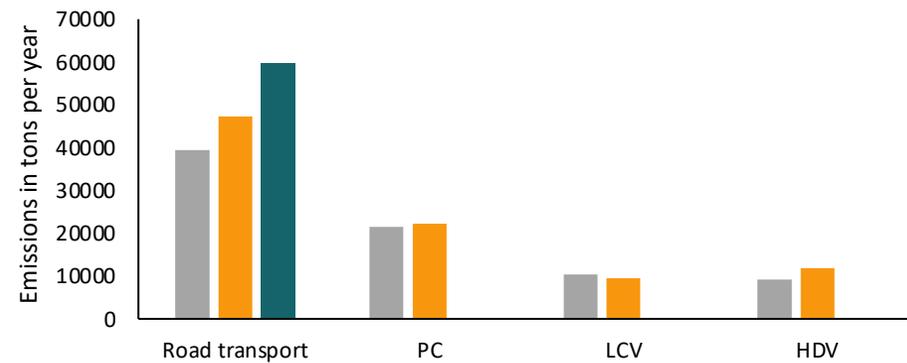
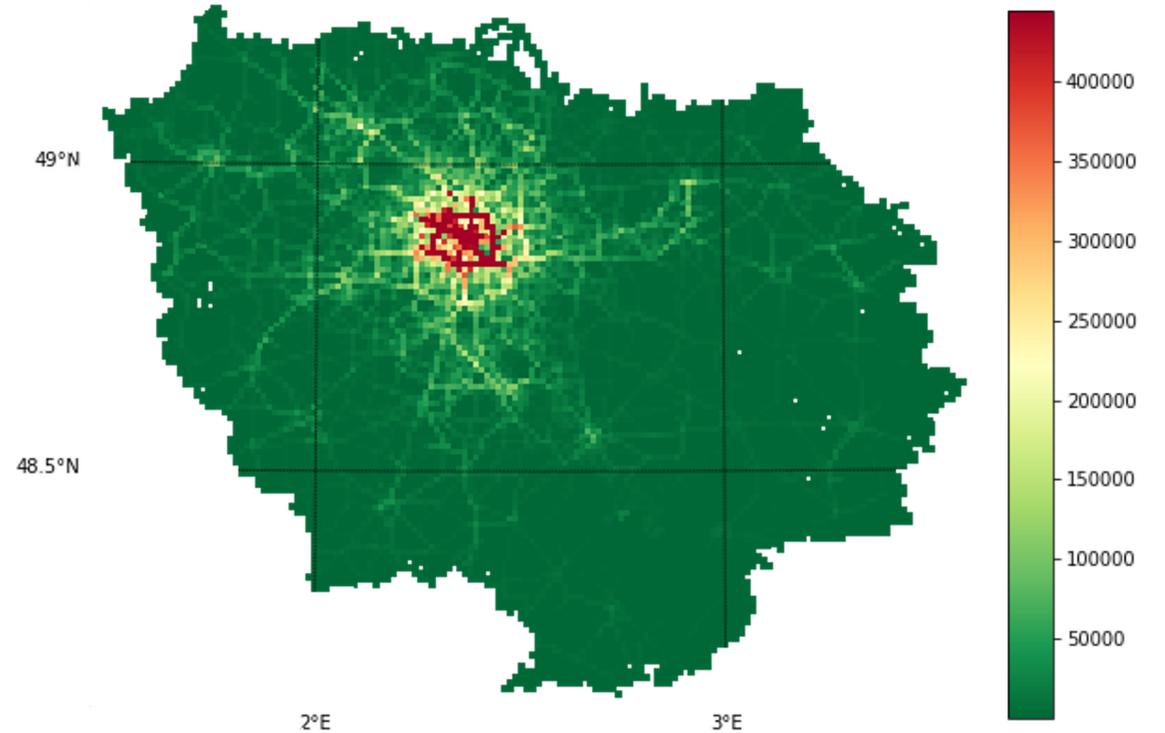
En termes de kilomètres parcourus les véhicules particuliers représentent 75.21% des kilomètres parcourus. En comparaison avec le rapport d'Airparif sur l'année 2010 on observe une différence de moins de 4%.

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.



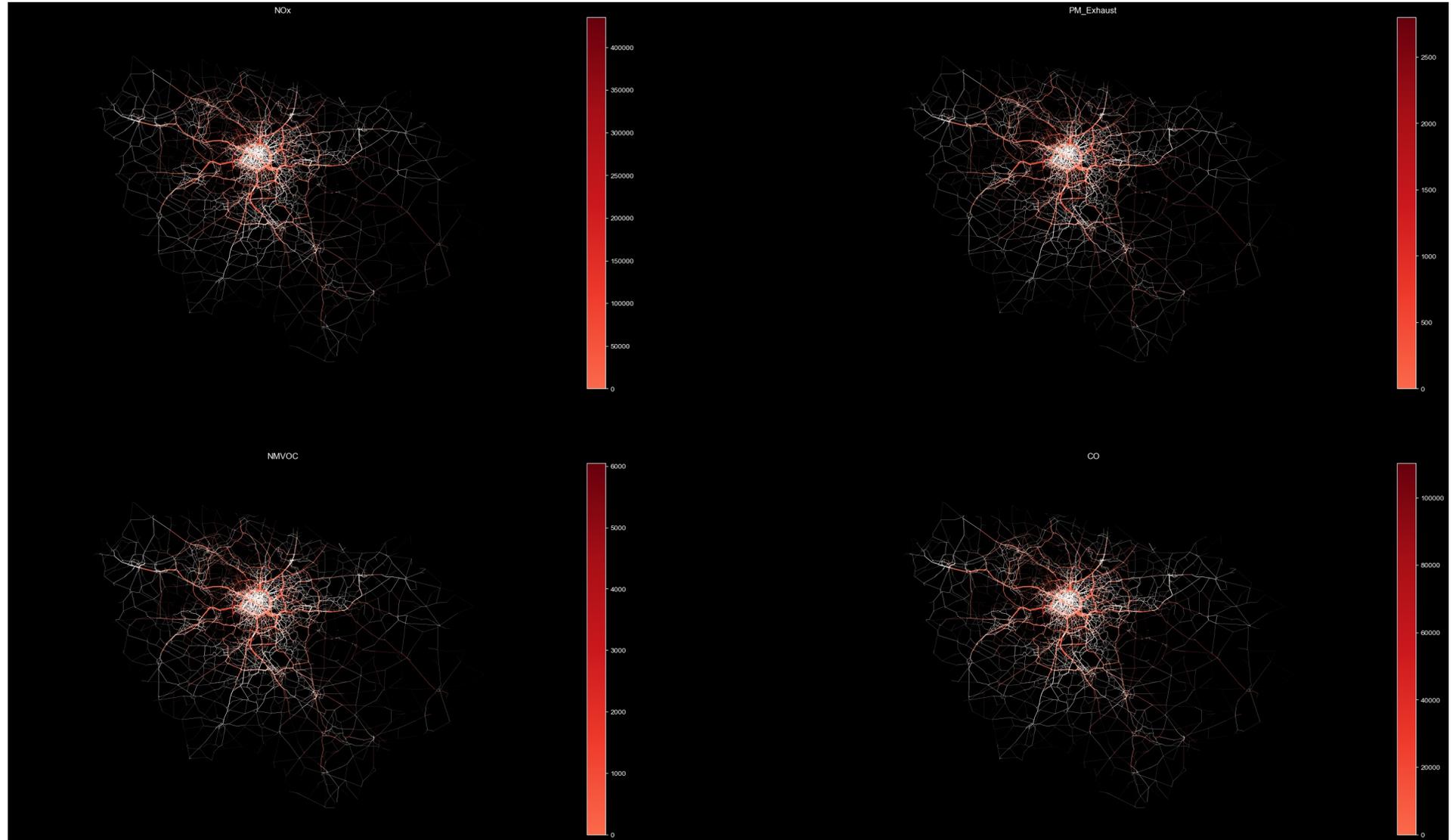
Application sur l'Ile-de-France

Emissions



Application sur l'Île-de-France

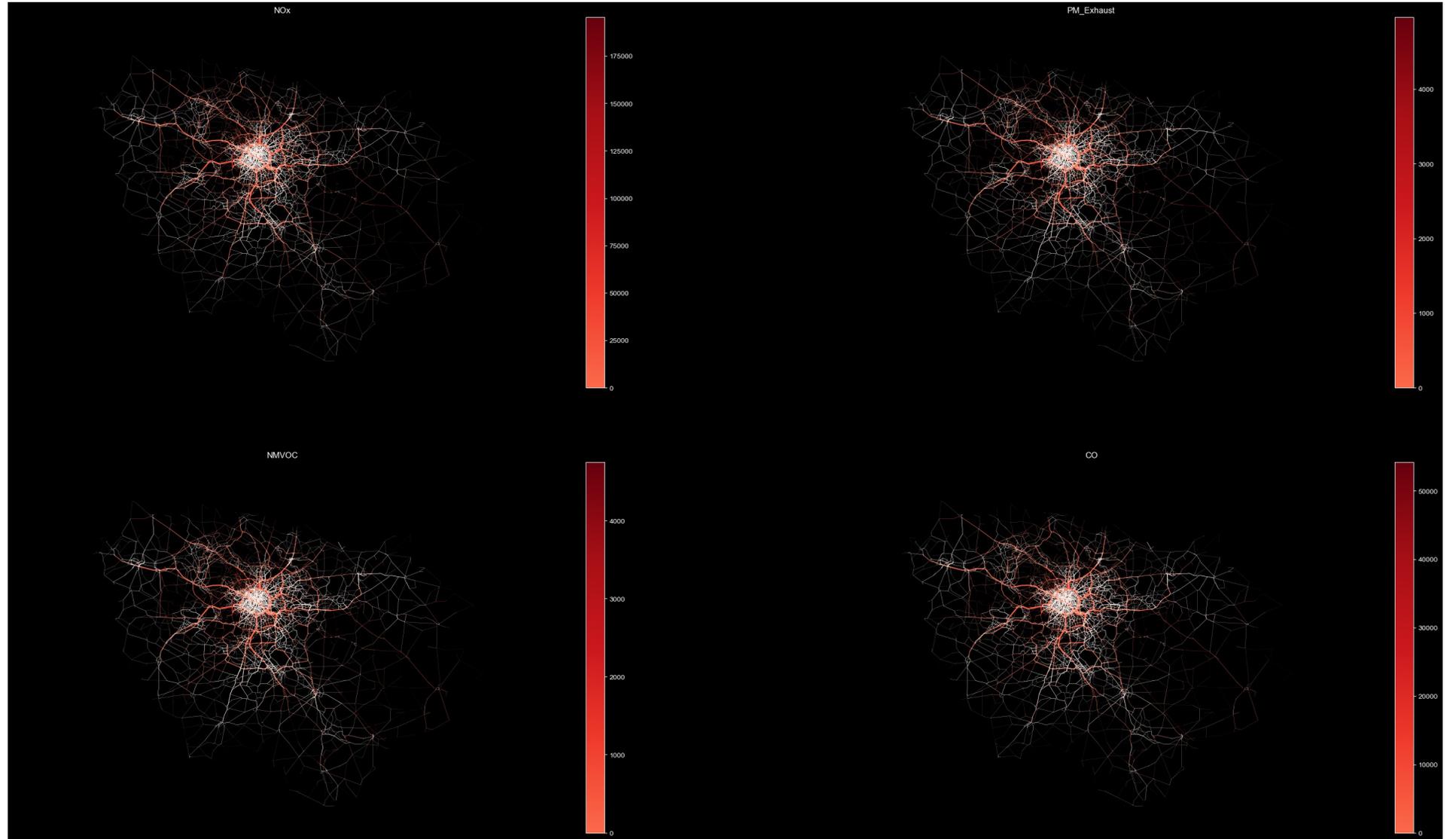
Emissions



Véhicule Particulier

Application sur l'Île-de-France

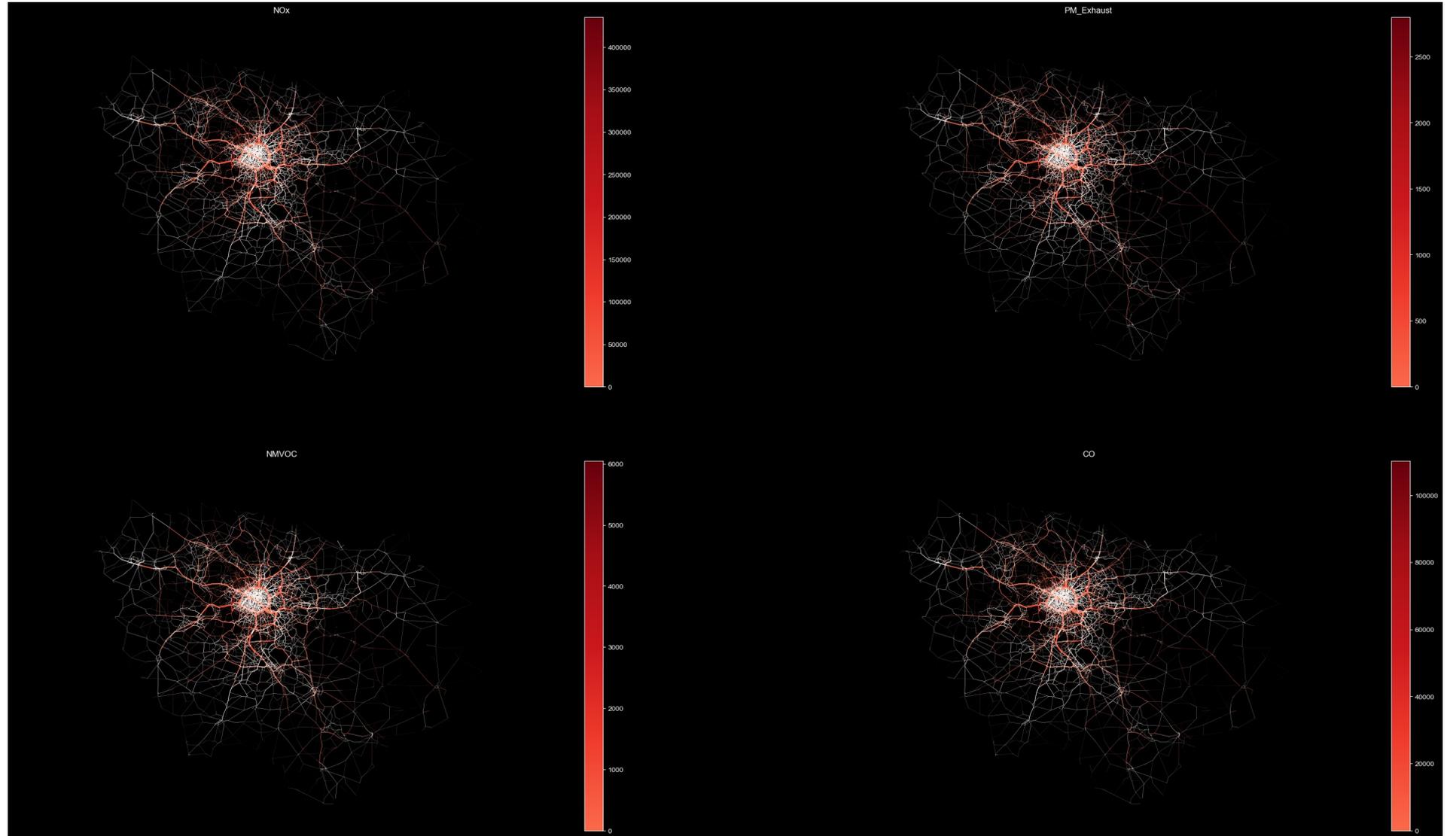
Emissions



Véhicule utilitaire léger

Application sur l'Île-de-France

Emissions



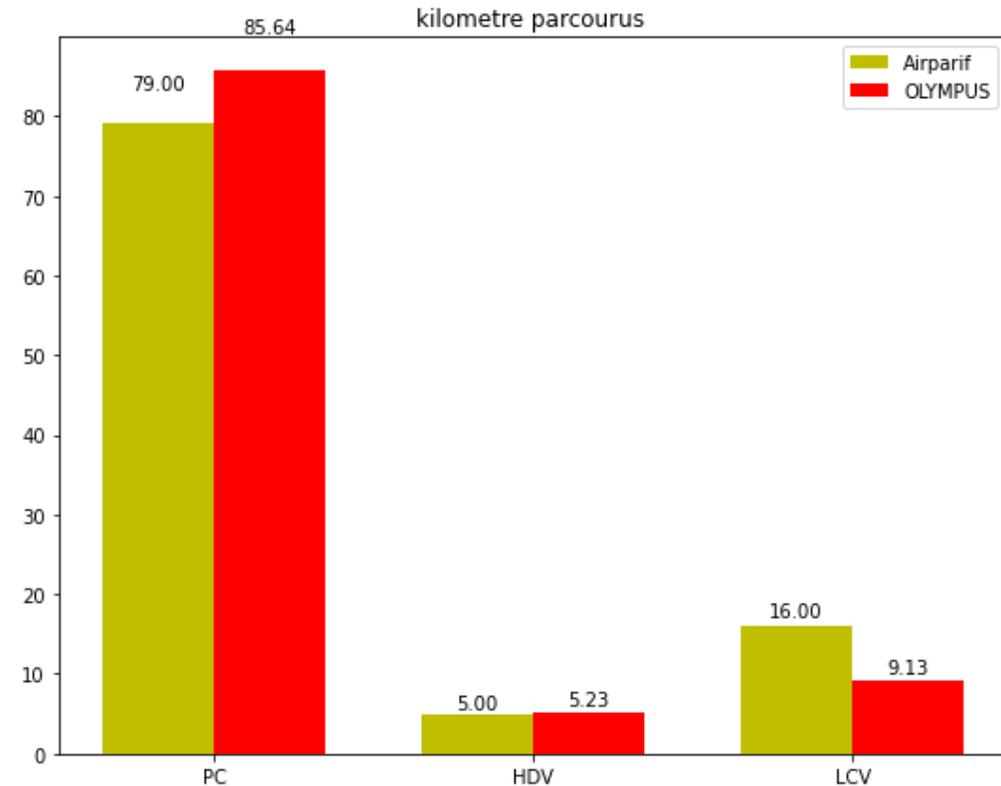
Poids lourd

Application sur l'Ile-de-France

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)

Scénarios

Production des scénarios urbains

MOBFRET

Scénarios de transport de marchandises en Île-de-France et analyse des impacts sur la consommation énergétique et les émissions liées au transport.

Un scénario de « fret alternatif », avec de multiples mesures pour réduire les émissions des déplacements intérieurs comme transrégionaux, par le biais d'innovations en matière de fret, de logistique, de livraison à domicile, etc. Il s'agirait par exemple de modifier les horaires de livraison, en multipliant par exemple les livraisons nocturnes (mais externalité négative, le bruit, des effets rebonds).

- Modification des horaires de livraison de marchandises en ville suivant le secteur d'activité.
- Potentielles évolution de la flotte du transport de marchandise en ville avec notamment l'implémentation de « cargo-bike », ou encore une optimisation des stratégies de livraison.
- Optimisation environnementale des livraisons – cout environnemental supérieur au cout employeur (5 cargo-bike < 5 camion porteur).

S1 TENDANCIEL

STRUCTURE URBAINE

- Constructions sous l'impulsion du réseau du GPE et autour des pôles de gares (existant et futures)
- Emploi IDF 2015
- Réseau TC 2030

DÉMOGRAPHIE

- Projection INSEE 2030
- Caractéristiques socio-démographiques (RGP 2015)
- NEDUM-MODUS

COMPORTEMENT DE MOBILITÉ

- Calibration sur la base de l'EGT 2010

MODES DE TRANSPORT

- Réseau routier régional
- Pas de modélisation du trafic diffus et de la mobilité interrégionale

TECHNOLOGIES

- Parc roulant 2030 projections IFSTTAR
- Emissions des autres secteurs constantes

Scénarios

Trafic

MOBFRET

Scénarios de transport de marchandises en Île-de-France et analyse des impacts sur la consommation énergétique et les émissions liées au transport.

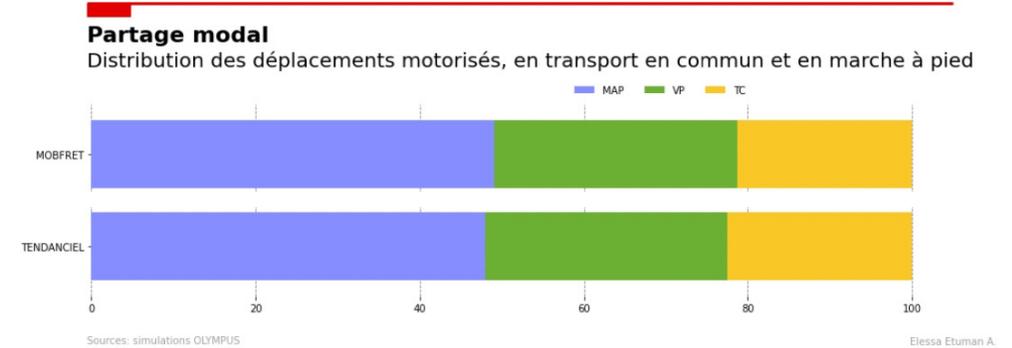


Tableau 2 Flux de mobilité inter-départements MOBFRET - TENDANCIEL

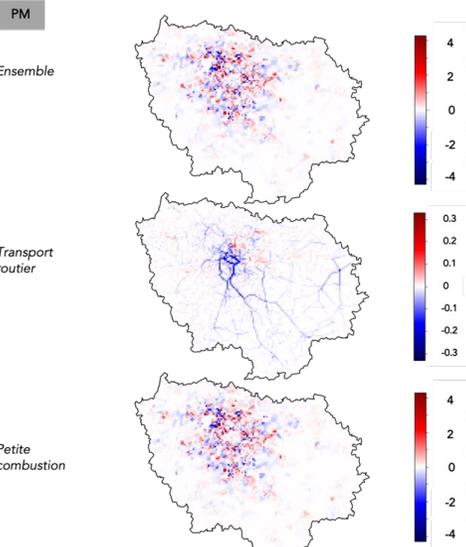
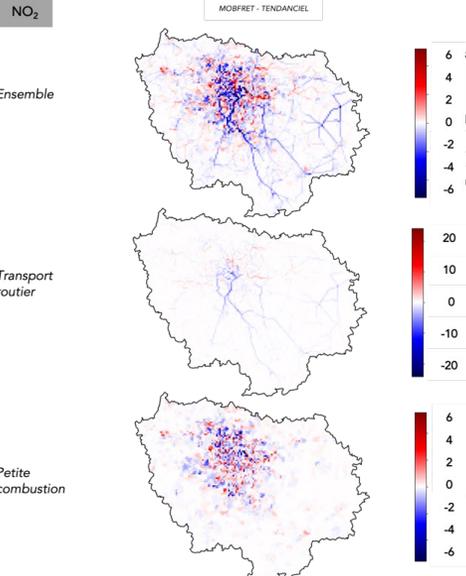
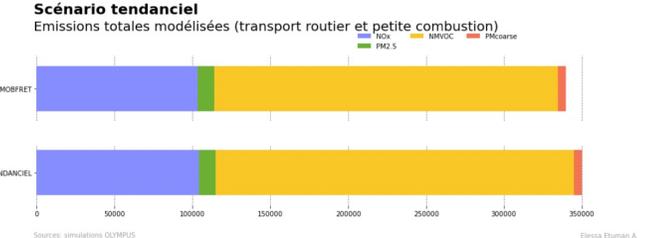
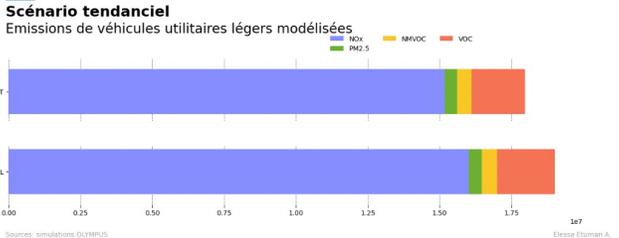
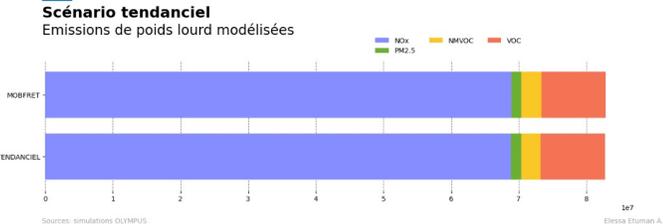
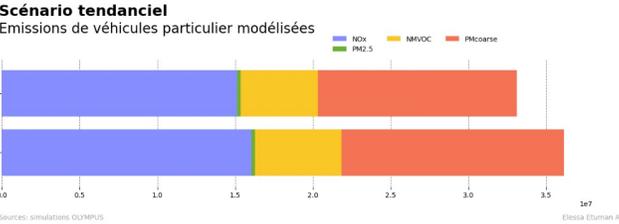
| | | Destination | | | | | | | | |
|---------|----|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | | O-D | 75 | 77 | 78 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 |
| Origine | 75 | | -3.78% | -6.44% | -10.80% | -11.27% | -8.09% | -4.83% | -7.82% | -7.72% |
| | 77 | | -6.63% | -2.93% | -33.33% | -6.68% | -16.05% | -5.88% | -6.87% | -4.47% |
| | 78 | | -10.81% | -11.11% | -1.27% | -9.22% | -9.48% | -6.18% | -6.99% | -7.82% |
| | 91 | | -11.55% | -6.92% | -9.13% | -1.99% | -9.31% | -8.40% | -3.57% | -23.30% |
| | 92 | | -8.17% | -17.09% | -9.50% | -9.36% | -1.27% | -4.98% | -6.44% | -6.74% |
| | 93 | | -4.73% | -6.23% | -5.23% | -8.83% | -5.12% | 0.15% | -4.88% | -4.52% |
| | 94 | | -7.73% | -6.30% | -7.06% | -3.81% | -6.72% | -4.87% | -2.08% | -11.14% |
| | 95 | | -7.78% | -4.45% | -7.94% | -18.22% | -6.67% | -4.47% | -10.91% | -0.75% |

Scénarios

Emissions

MOBFRET

Scénarios de transport de marchandises en Île-de-France et analyse des impacts sur la consommation énergétique et les émissions liées au transport.

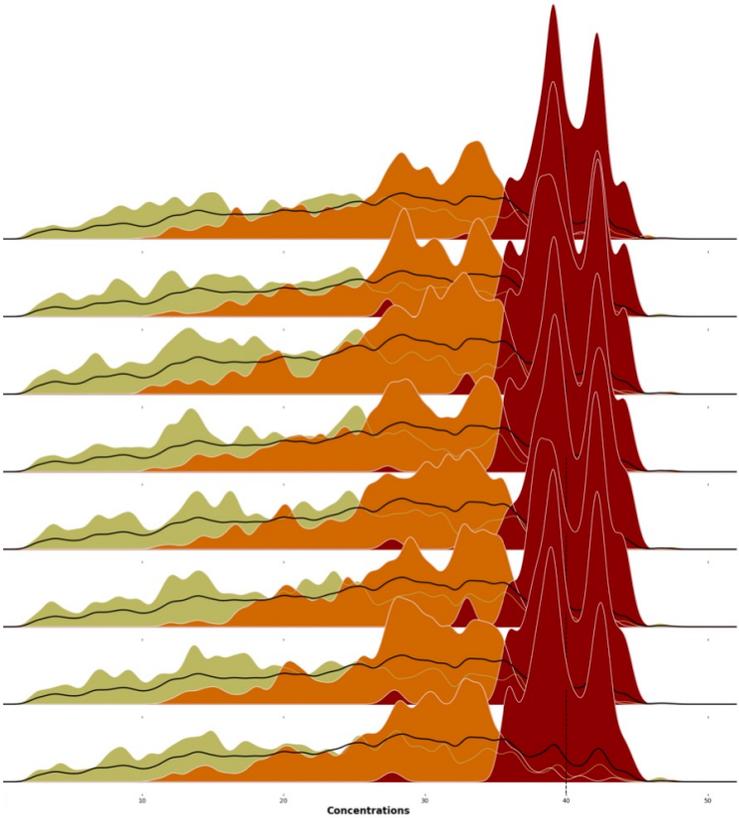
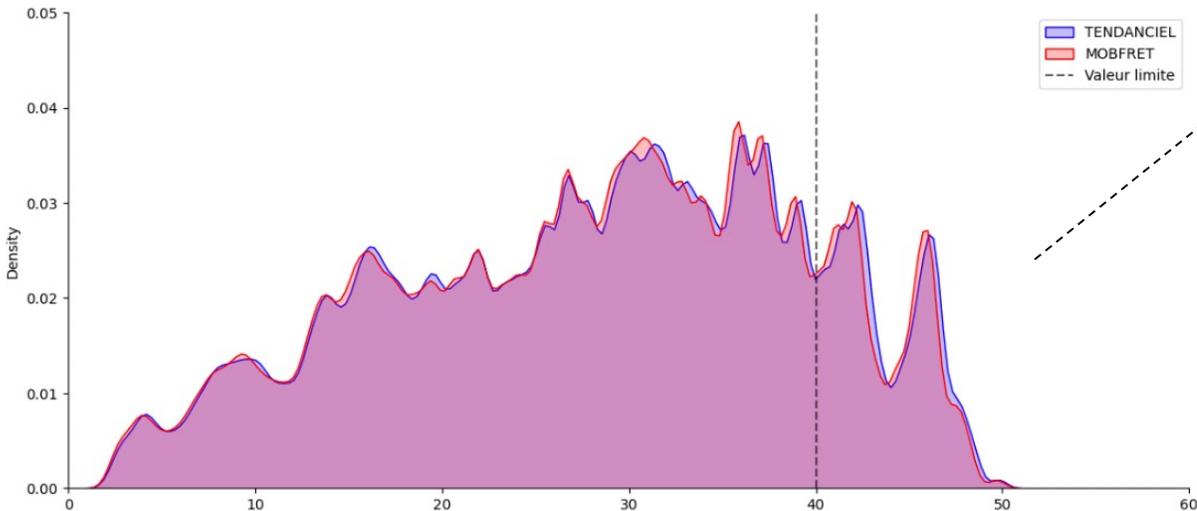


Scénarios

Qualité de l'air

MOBFRET

Scénarios de transport de marchandises en Île-de-France et analyse des impacts sur la consommation énergétique et les émissions liées au transport.



Conclusions

En bref :

- Une approche innovante capable de reproduire la mobilité en intégrant des variables sociodémographiques
- Ce qui nous permettra de mener une analyse approfondie de l'exposition en ce qui concerne :
 - des inégalités spatiales
 - Inégalités sociales
- Identifier les leviers d'exposition : type de transport/lieux de vie/activités/...

Pour aller plus loin...

- Impacts des scénarios futurs sur les inégalités : quel(s) impact(s) sur les inégalités ?
- Concentrations intérieures
- Changement de planning d'activité des agents (cf organisation du planning de livraison)

Merci

Isabelle Coll

Martin Koning

Mathieu Gardrat

Nicolas Coulombel

Carlos Perez

Marc Guevara

Ines Makni

Taos Benoussaid

Virna Riveira-Salas

Jérôme Chesneau

Thibault Goessel

Marie Carretier

Nanah Haidara

Fried Sabaye

Vincent Viguié

Caroline Gallez

Laetitia Dablanc

Olivier Coutard