



**PRÉFET
DE LA RÉGION
D'ÎLE-DE-FRANCE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Modéliser les déplacements

avec Modus 3.1

Guillaume Tremblin

DRIEAT/SCDD/DMEM

Cours TAMUR - ENPC

Plan de l'intervention

- Comprendre la mobilité pour pouvoir la simuler
- Définir son besoin pour choisir le bon modèle
- Calibrer son modèle grâce à la statistique
- Coder les réseaux d'offre de transport
- Représenter la mobilité pour analyser les résultats



<http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/modelisation-des-deplacements-en-ile-de-france-a5918.html>

Comprendre la mobilité

- Pourquoi se déplace-t-on ?
 - Pourquoi ne pas rester dormir ce matin ?
 - Pourquoi êtes-vous là ?
 - Pourquoi ne pas aller au cinéma à la place ?

- D'où à où ?
 - Où étiez-vous avant de venir ?
 - Où êtes-vous actuellement ?
 - Où irez-vous après ?

- Comment ?
 - Comment êtes-vous arrivés ici ?
 - Quelles étaient vos alternatives ?
 - Quels alternatives vous étaient inaccessibles ?

Comprendre la mobilité

- Pourquoi ? => hiérarchisation des motifs et programmation
 - Par besoin : dormir, se nourrir, se soigner
 - Par devoir : travailler, étudier, accompagner
 - Par envie : se distraire, se rencontrer, voyager

- Où ? => choix de l'origine et de la destination
 - Besoin : logement, commerces, équipements publics
 - Devoir : lieux d'emploi, d'études, d'accueil et de garde
 - Envie : lieux de loisirs, de rencontres, de visites

- Comment ? => choix du mode et de la destination
 - En autonomie : marcher, rouler, conduire
 - Via un service public : transports collectifs, transport à la demande, secours
 - Via un service privé : taxi, VTC, covoiturage, livraison

Comment sont déterminés les déplacements ?

- Les motifs à satisfaire dépendent notamment :
 - Exemple : un femme de 70 ans VS une fille de 12 ans
 - Exemple : un homme de 25 ans VS un homme de 40 ans
 - Exemple : un vendredi 24 décembre à 20h VS mercredi 10 mai à 9h

- La destination dépend notamment :
 - Exemple : Restaurant 3* VS Fast food, Marché VS Supermarché
 - Exemple : Petites courses alimentaires VS Shopping en grands magasins
 - Exemple : Travail à 20 km VS Loyer à 1000 €/mois

- Le choix de mode dépend notamment :
 - Exemples : voiture de fonction VS vélib VS moto au garage
 - Exemples : abonnement TC VS Taxi VS voiture personnelle
 - Exemples : métro bondé VS bus cahoteux VS au volant dans les bouchons

Comment sont déterminés les déplacements :

- Les motifs à satisfaire dépendent notamment :
 - de son activité principale (étudiant, employés, retraités, etc.)
 - de son rôle au sein du ménage (parent, enfant unique, frère aîné, grand-parent)
 - du jour et de la période horaire (jour travaillé, weekend, vacances, matin, midi, soir)

- La destination dépend notamment :
 - de l'offre accessible permettant de satisfaire son motif
 - du temps à consacrer à l'activité rapporté au temps passé à se déplacer
 - de ses moyens et sa propension à voyager plus ou moins loin

- Le choix de mode dépend notamment :
 - de ses moyens d'accès aux différents modes (véhicule, permis, abonnement)
 - du coût et du temps de parcours par chaque alternative (revenu, valeur du temps)
 - de sa perception du confort ou de la pénibilité associée à chaque alternative

Comment choisir son itinéraire ?

- A pied :   

- A vélo : 

- En transports collectifs :  

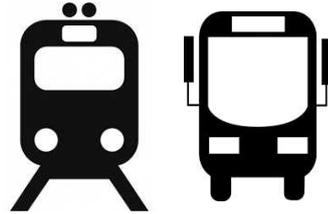
- En transports individuels :   

Optimiser son itinéraire

- A pied :   
 - le plus court chemin (le plus rapide ?)
 - le moins fatiguant (escalier, dénivelé)
 - le plus sûr (trottoir, passages cloutés, feux piétons, éclairage, commerces)
 - le plus agréable (conditions météo, bruit, aménagements paysagers)

- A vélo : 
 - le plus court chemin (le plus rapide ?)
 - le moins fatiguant (dénivelé)
 - le plus sûr (aménagements cyclables, petites rues, carrefours à feux)
 - le plus pratique (proximité du stationnement, vestiaire et douches à destination)
 - le plus agréable (conditions météo, bruit, terrain, etc.)

Optimiser son itinéraire



- En transports collectifs :
 - le plus proche (arrêt de transport à l'origine et à destination)
 - le plus rapide (vitesse des bus / tram / métro / RER)
 - le plus fiable (fréquence de passage, nombre de correspondances, régularité)
 - le moins fatiguant (escaliers, correspondances à pied)
 - le plus agréable (proximité aux autres, places assises, vue sur l'extérieur)

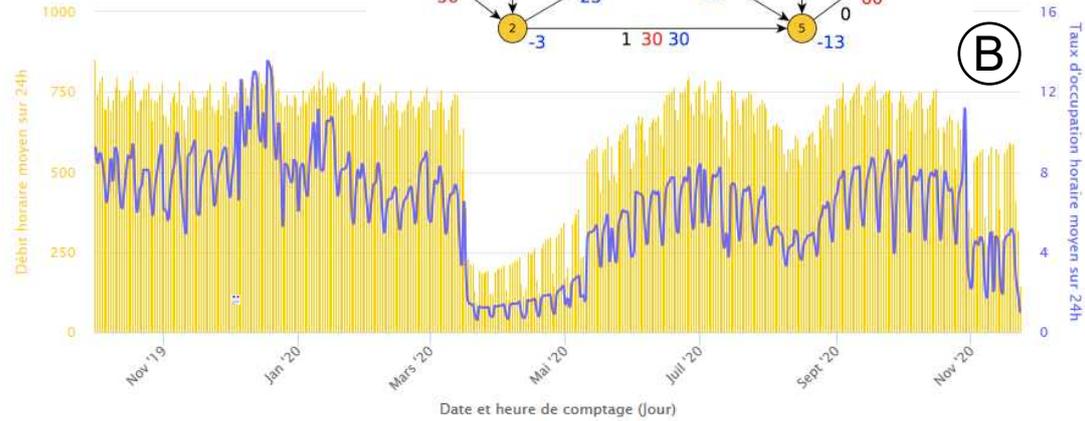
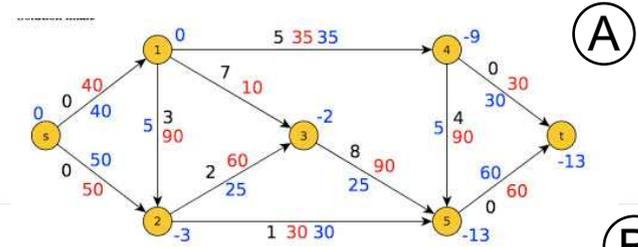


- En transports individuels :
 - le plus court (= le plus rapide et le moins cher ?)
 - le plus rapide (vitesse limite, nombre de carrefours, congestion)
 - le moins fatiguant (congestion, nombres de manœuvres)
 - le plus fiable (congestion, accidents, travaux, manifestations)
 - le plus pratique (proximité du stationnement, temps de stationnements)
 - le moins cher (péage, stationnement payant, carburant, usure)

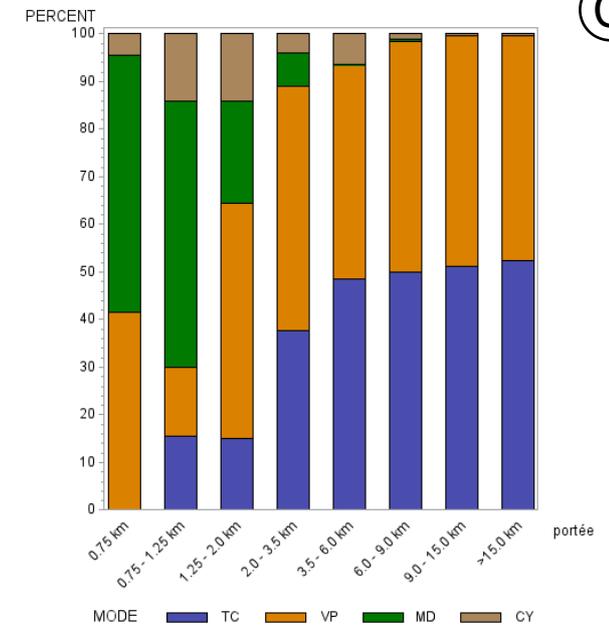
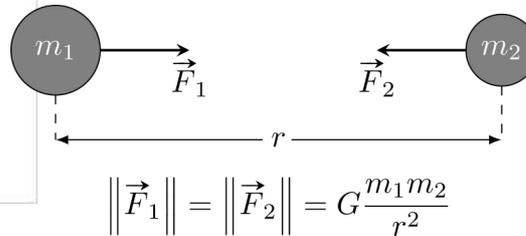
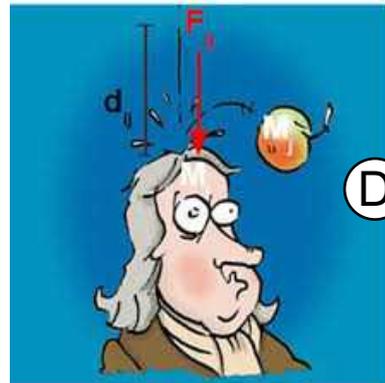
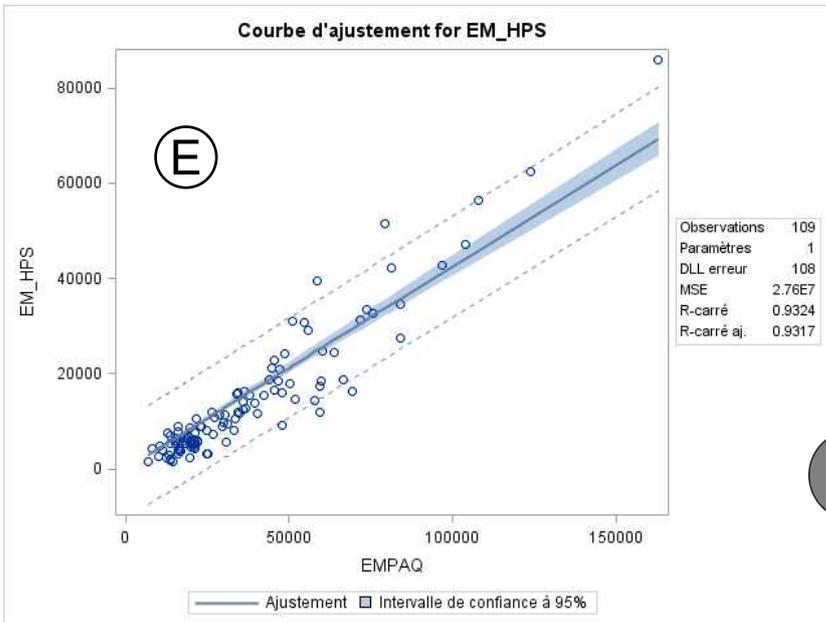
Pour des raisons différentes

Différents modèles pour différents besoins

- 1) Modèle de séries chronologiques
- 2) Régression linéaire
- 3) Modèle non linéaire (ex : gravitaire)
- 4) Modèle de choix discret
- 5) Modèle de recherche opérationnelle



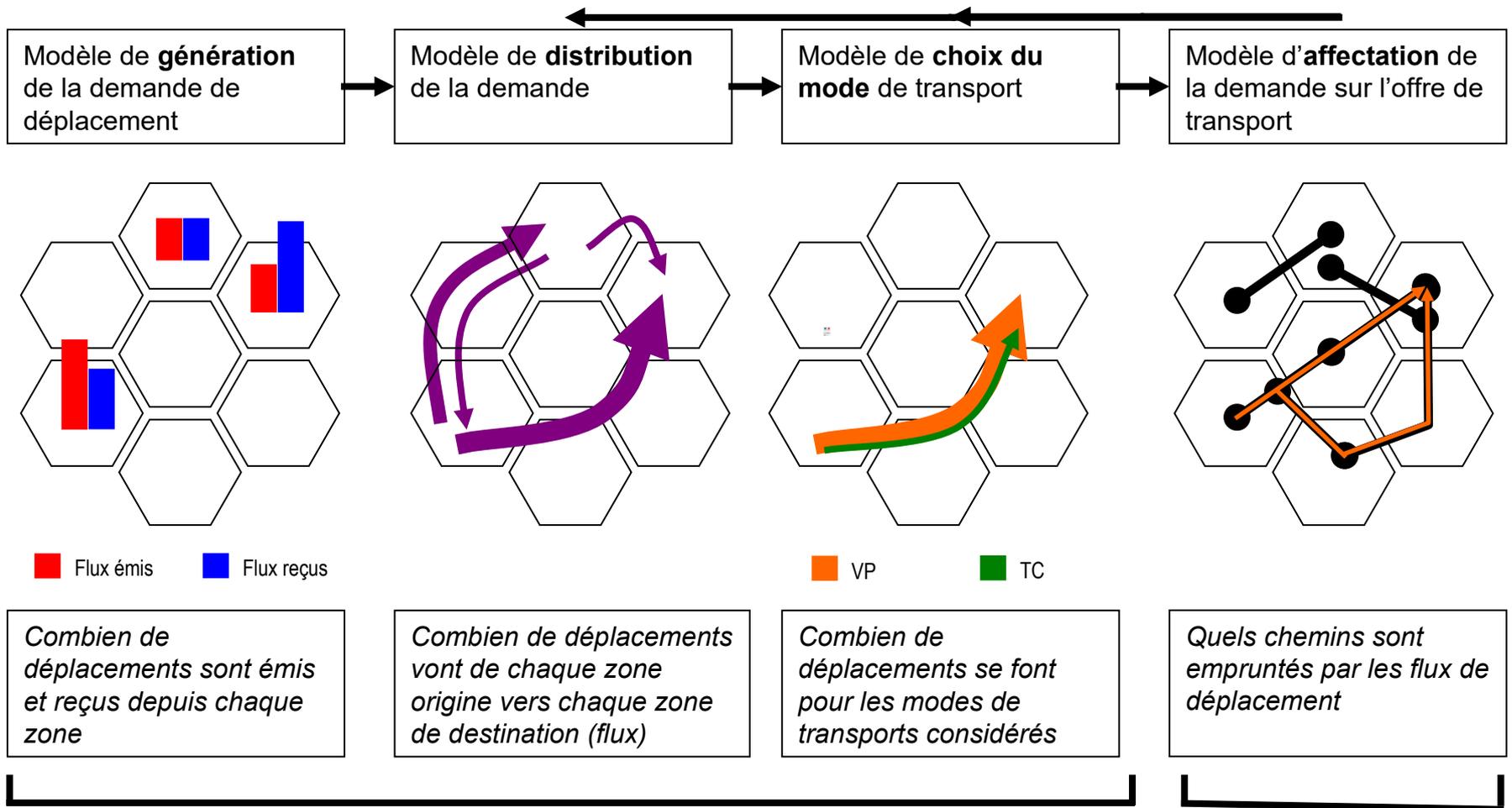
● Débit horaire moyen sur 24h — Taux d'occupation horaire moyen sur 24h
Part modale selon la portée à l'HPS
CAT=2 MOTIF_C=5 TYPE=OBS



(C)

Un modèle à 4 étapes

Bouclage par les temps de transport



Modélisation de la demande

Modélisation du trafic

Modéliser c'est simplifier

- Objectiver les comportements de mobilité (pour pouvoir la simuler)
 - déterminer les causes de la génération des déplacements
 - déterminer les causes de la distribution des déplacements
 - déterminer les causes du choix modal
 - déterminer les causes du choix d'itinéraire

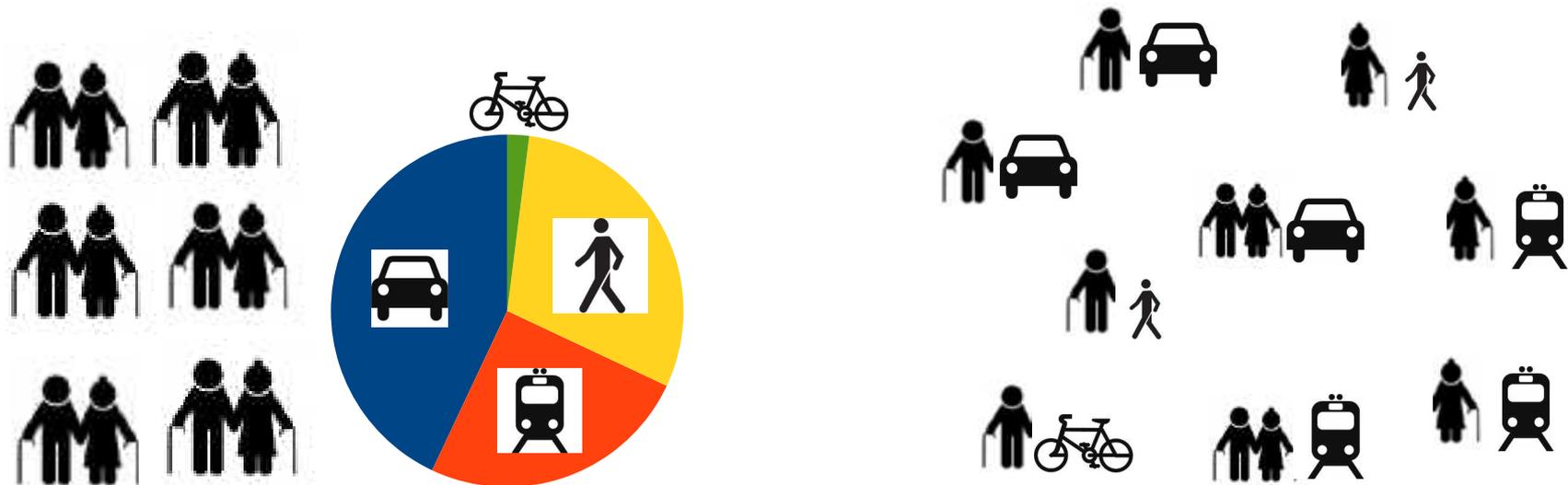
- Définir son besoin pour choisir le modèle
 - Définir l'objectif de l'étude => Développer un modèle adapté
 - Définir son territoire d'étude => Réaliser un zonage
 - Définir l'horizon temporel => Recueillir/produire les données d'entrée
 - Définir l'offre de transport => Coder des réseaux de transport
 - Définir les indicateurs => Produire un scénario de référence

MODUS 3.1

- La modélisation des déplacements avec MODUS
 - Objectif => Évaluer l'impact des projets de transport sur la mobilité des franciliens
 - Territoire => La région Île-de-France
 - Temporalité => Un jour de semaine, le matin (6h-10h), le soir (16h-20h) et en période creuse de jour (10h-16h), horizons d'études à 5, 10, 15 ou 20 ans
 - Offre de transport => Réseau routier et réseau de transport collectif sous Visum
 - Indicateurs => Charges et saturations des réseaux, vitesses et temps de parcours, montées-descentes et correspondances TC, isochrones
- Le type de modèle retenu
 - Modèle à 4 étapes macroscopique statique multimodal agrégé avec rétro-action
 - Segmentation => 7 activités principales, 11 motifs combinés, 2 catégories de captivité
 - Génération => 22*3 modèles de régression linéaire sur les données d'occupation du sol
 - Distribution => 28*3 modèles de distribution gravitaire des déplacements
 - Choix modal => 11 modèles de choix discret en logit non linéaire
 - Affectation => 3 modèles d'affectation sur les réseaux (VP – PL – TC)

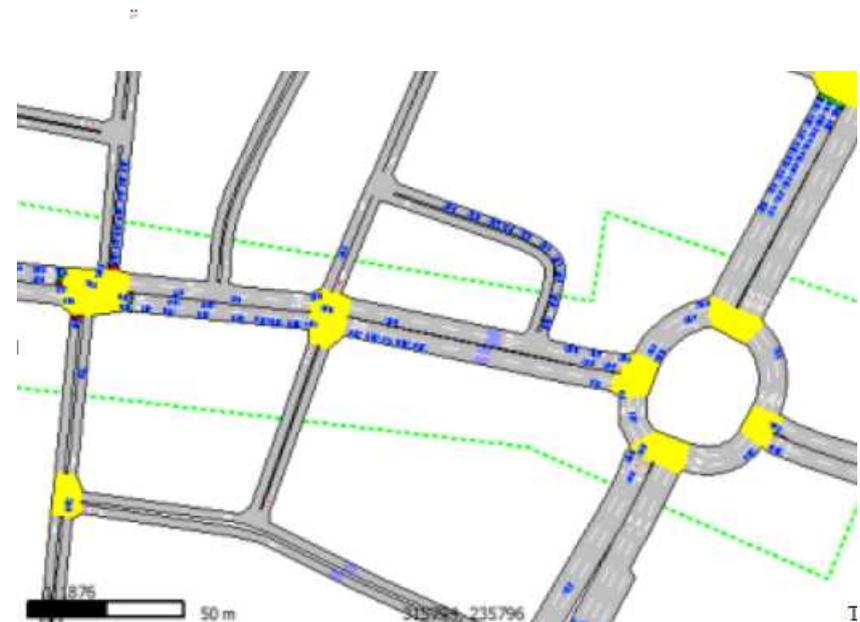
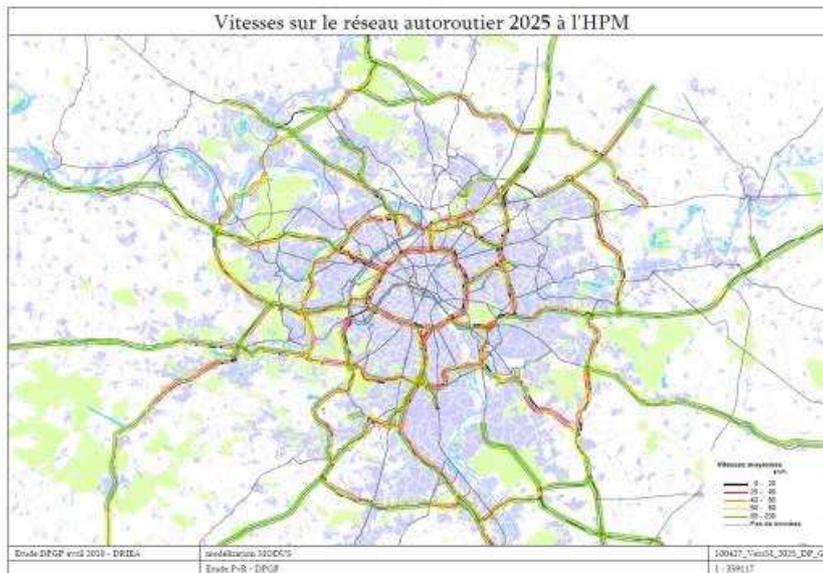
Choix du modèle

Agrégé	Désagrégé
<p style="text-align: center;">Déterministe</p> <p style="text-align: center;"><i>Les usagers sont regroupés par segments homogènes et se répartissent entre les différentes possibilités</i></p>	<p style="text-align: center;">Probabiliste</p> <p style="text-align: center;"><i>Chaque usager fait un choix discret basé sur des lois de probabilités tenant compte de ses caractéristiques</i></p>



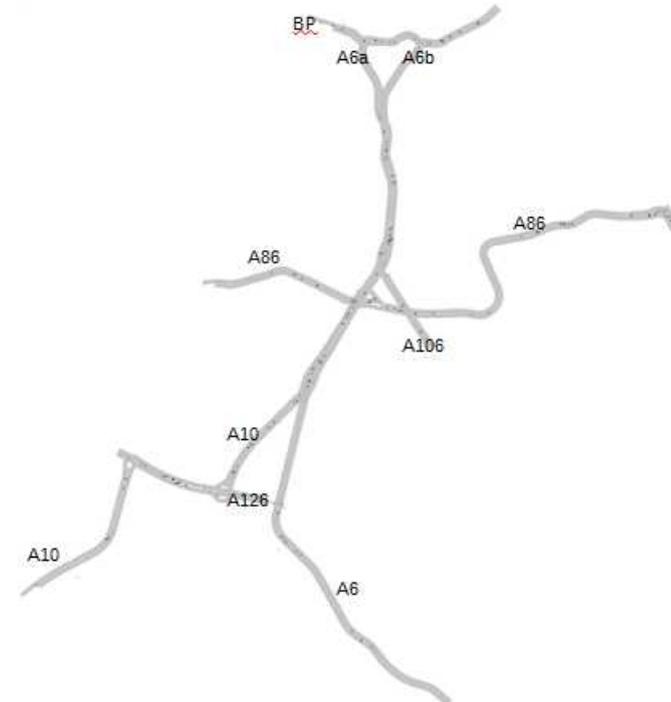
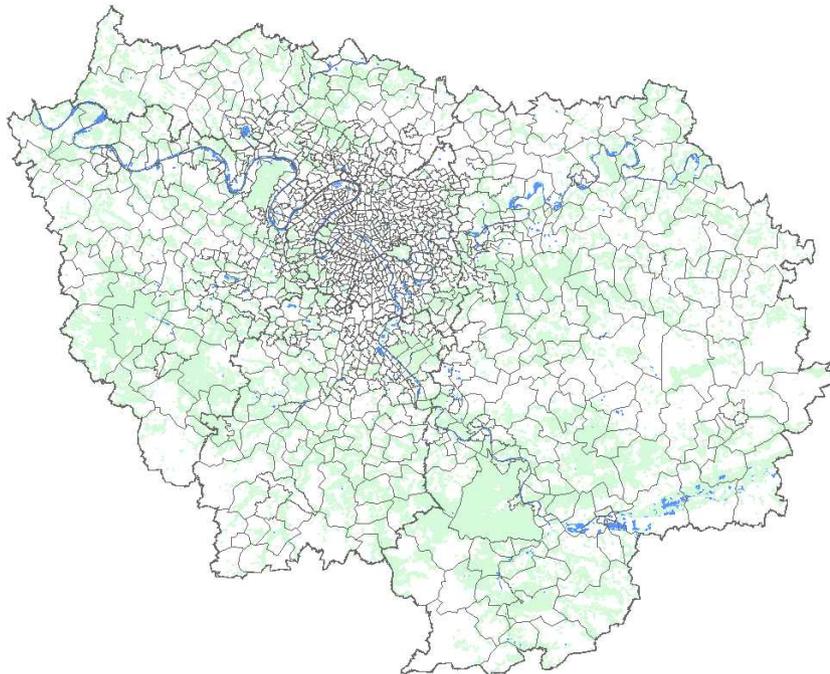
Choix du modèle

Statique	Dynamique
<p style="text-align: center;">Simulation représentative</p> <p style="text-align: center;"><i>L'offre et la demande sont considérés en moyenne horaire sans variation au cours de la période modélisée</i></p>	<p style="text-align: center;">Simulation pas à pas</p> <p style="text-align: center;"><i>Les déplacements sont une succession de position sur le territoire capturé selon un pas de temps prédéfini</i></p>



Choix du modèle

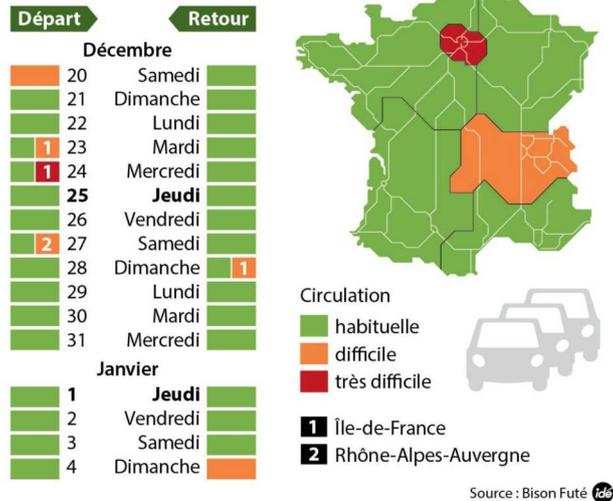
Macroscopique	Microscopique
<p data-bbox="612 480 804 523">Territoire</p> <p data-bbox="342 587 1072 724"><i>Les déplacements sont synthétisés en termes d'échanges à l'échelle d'un territoire plus vaste que leur portée</i></p>	<p data-bbox="1402 480 1683 523">Réseau local</p> <p data-bbox="1146 587 1942 724"><i>Les déplacements sont analysés à l'échelle locale de leur entrée à leur sortie du sous-réseau étudié</i></p>



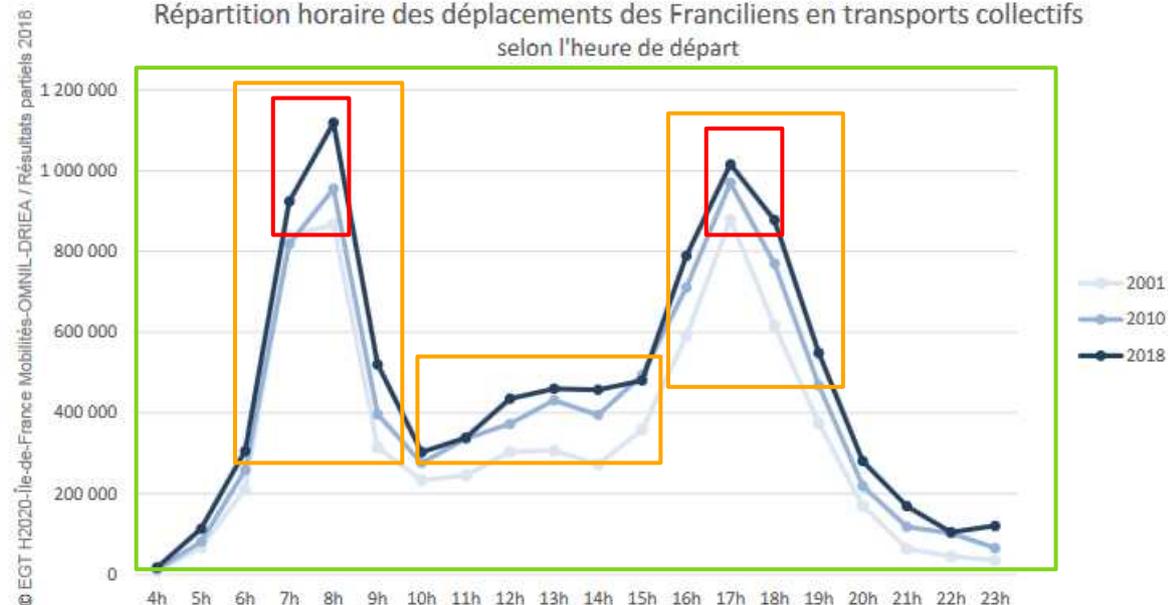
Choix du modèle

Calendaire	Par période horaire
Usage	Performance
<p><i>Le modèle décrit l'ensemble des déplacements réalisés au cours de journées types (jour ouvrable, samedi, dimanche)</i></p>	<p><i>Le modèle ne s'intéresse qu'aux déplacements d'une période de temps limitée (ex : HPM)</i></p>

Les prévisions de trafic

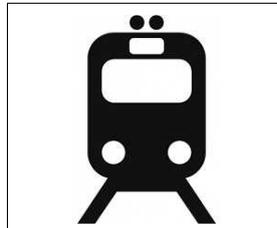


Répartition horaire des déplacements des Franciliens en transports collectifs selon l'heure de départ



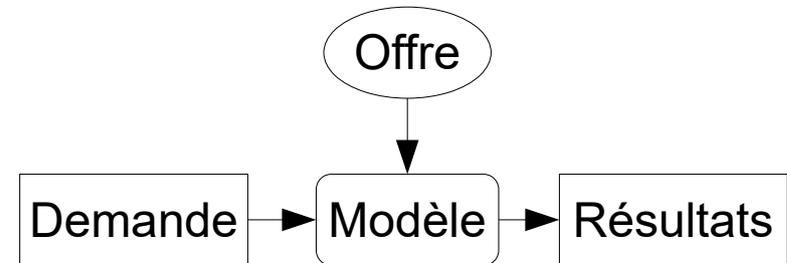
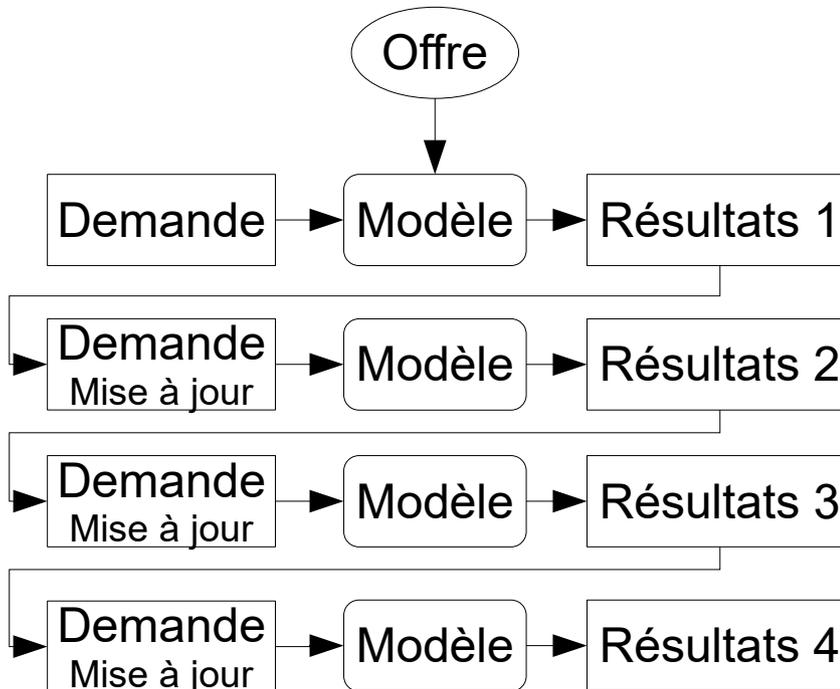
Choix du modèle

Monomodal	Multimodal
<p>Gestionnaire de réseau</p> <p><i>Seuls les déplacements d'un mode sont modélisés</i></p>	<p>Autorité organisatrice</p> <p><i>Le modèle permet d'analyser plusieurs modes de déplacement et leurs interactions</i></p>



Choix du modèle

Avec rétro-action	Sans rétro-action
<p style="text-align: center;">Prospective</p> <p style="text-align: center;"><i>Le modèle permet de tenir compte des interactions entre offre et demande et d'atteindre un équilibre entre les 2</i></p>	<p style="text-align: center;">Court terme</p> <p style="text-align: center;"><i>Le modèle applique directement les comportements connus à l'évolution d'offre</i></p>



Pourquoi faire une rétroaction de la demande sur l'offre ?



Que se passe-t-il si on confine ?



Légende :

Modèle externe

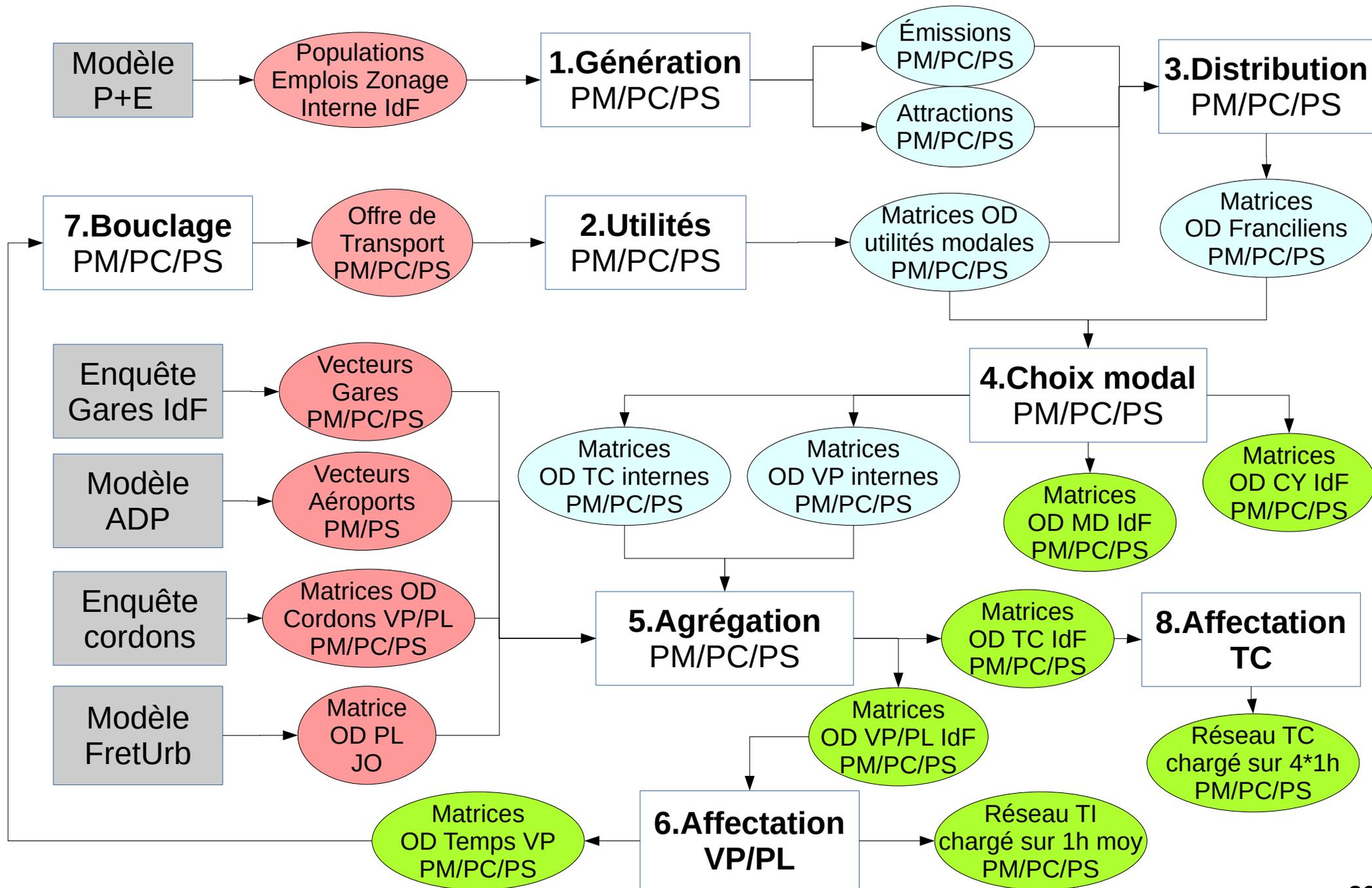
Hypothèses exogènes

Étape Périodes

Résultats intermédiaires

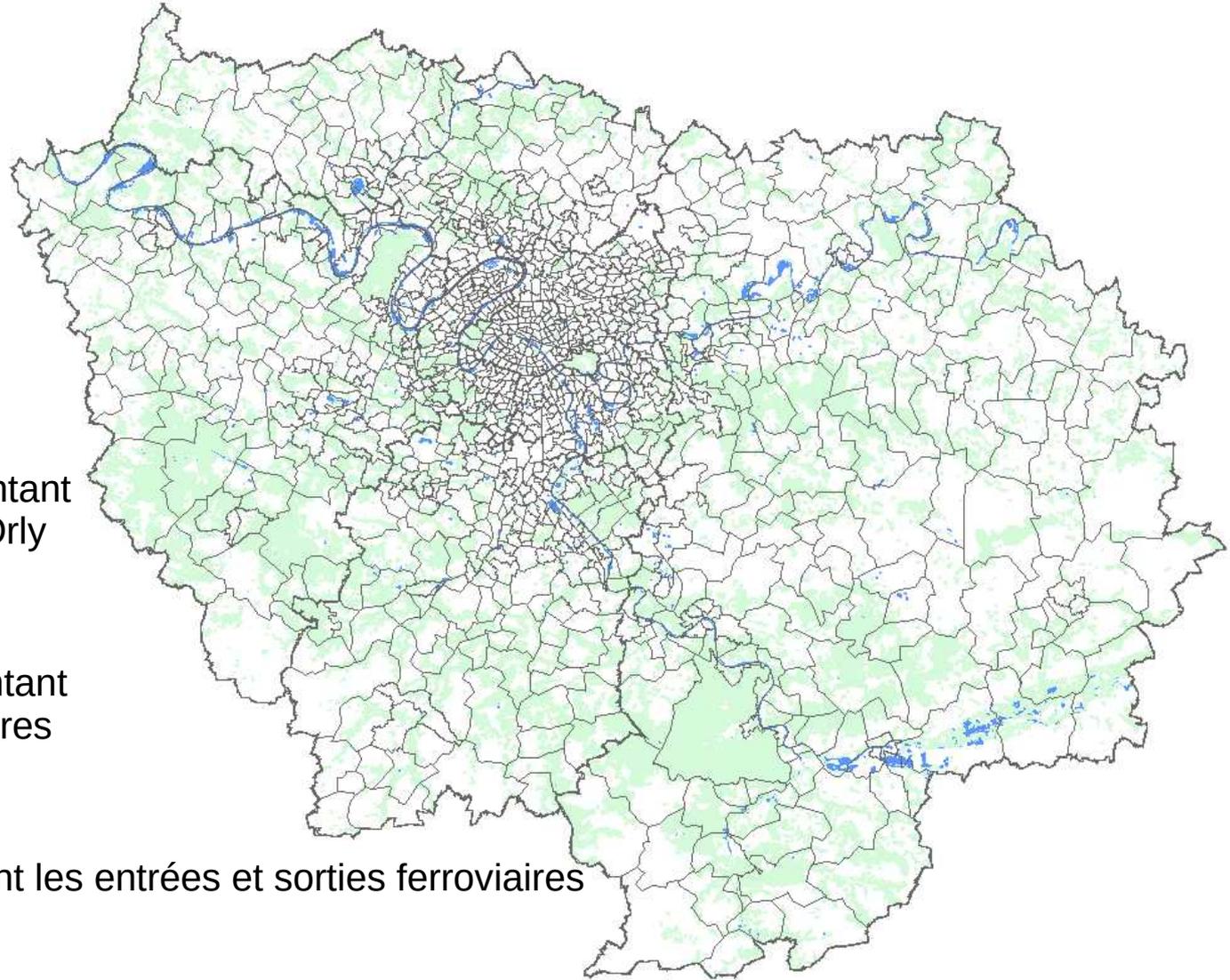
Sorties de Modus 3.1

Import-export de données



Zonage Modus

- Périmètre d'études :
Région Ile de France
- 1 289 zones agrégeant
les 5 262 IRIS de la région
- 4 zones aéroports représentant
les échanges à Roissy et Orly
- 34 zones cordons représentant
les entrées et sorties routières
- 11 zones gares représentant les entrées et sorties ferroviaires



Segmentation de la demande

- Selon l'activité :



Actifs ayant un emploi
CSP HQ CSP AQ



Retraités



Chômeurs
et Inactifs



Elèves du
primaire et
maternel



Elèves du
secondaire



Etudiants

- Selon le motif hiérarchisé non orienté :



Accompagnement
Actifs/Autres

①



②



Professionnel
CSP HQ/AQ

③



④



Travail
CSP HQ/AQ

⑤



⑥



Etudes
Prim/Sec/Sup

⑦



⑧



⑨



Achats-Loisirs
Actifs/Autres

⑩



⑪

- Selon la captivité aux transports collectifs :



Non motorisé ou majeur sans permis



Motorisé et permis si majeur



Segmentation

LÉGENDE

Motifs non orientés et hiérarchisés

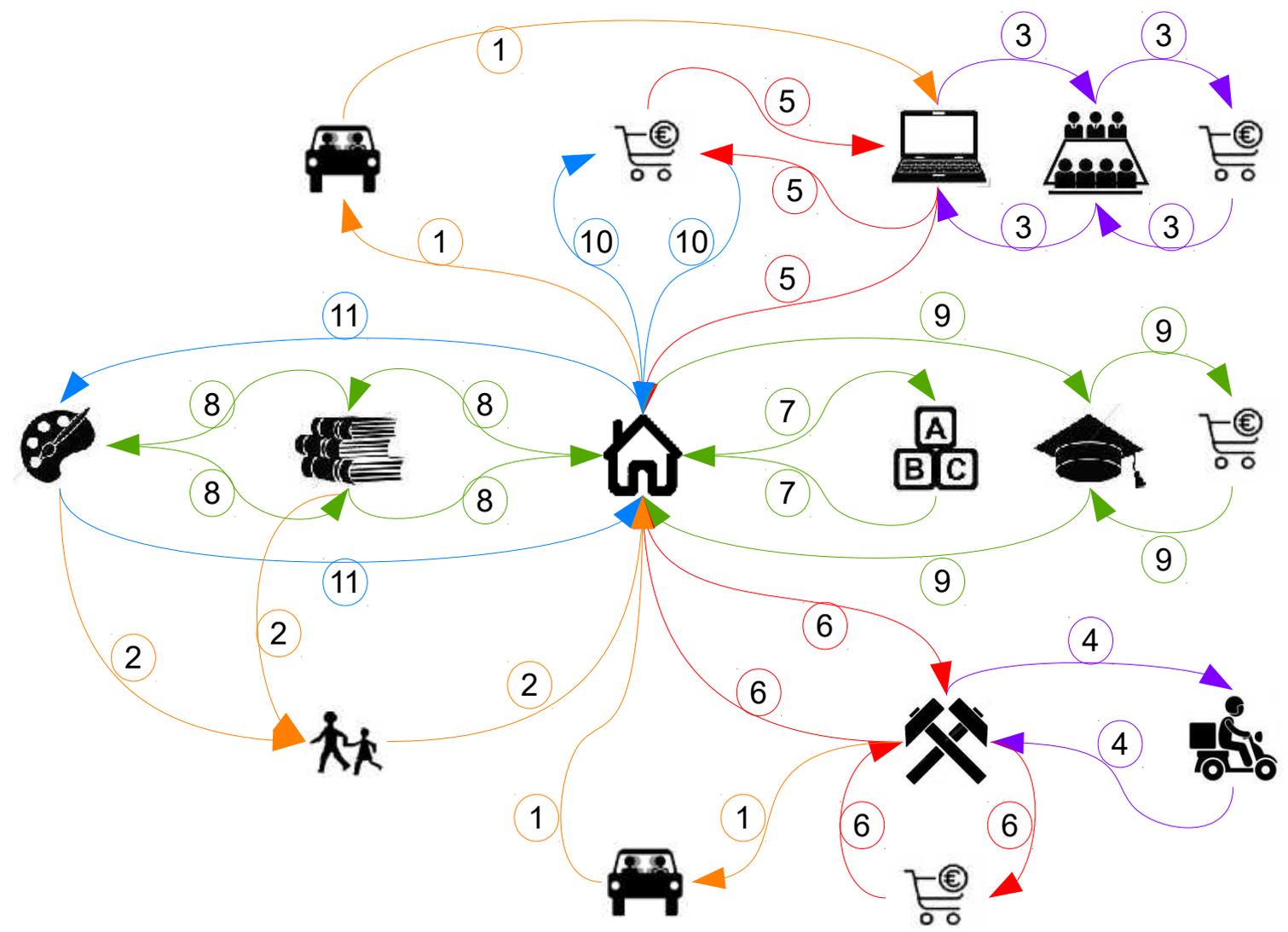
Accompagnement

Professionnel

Travail

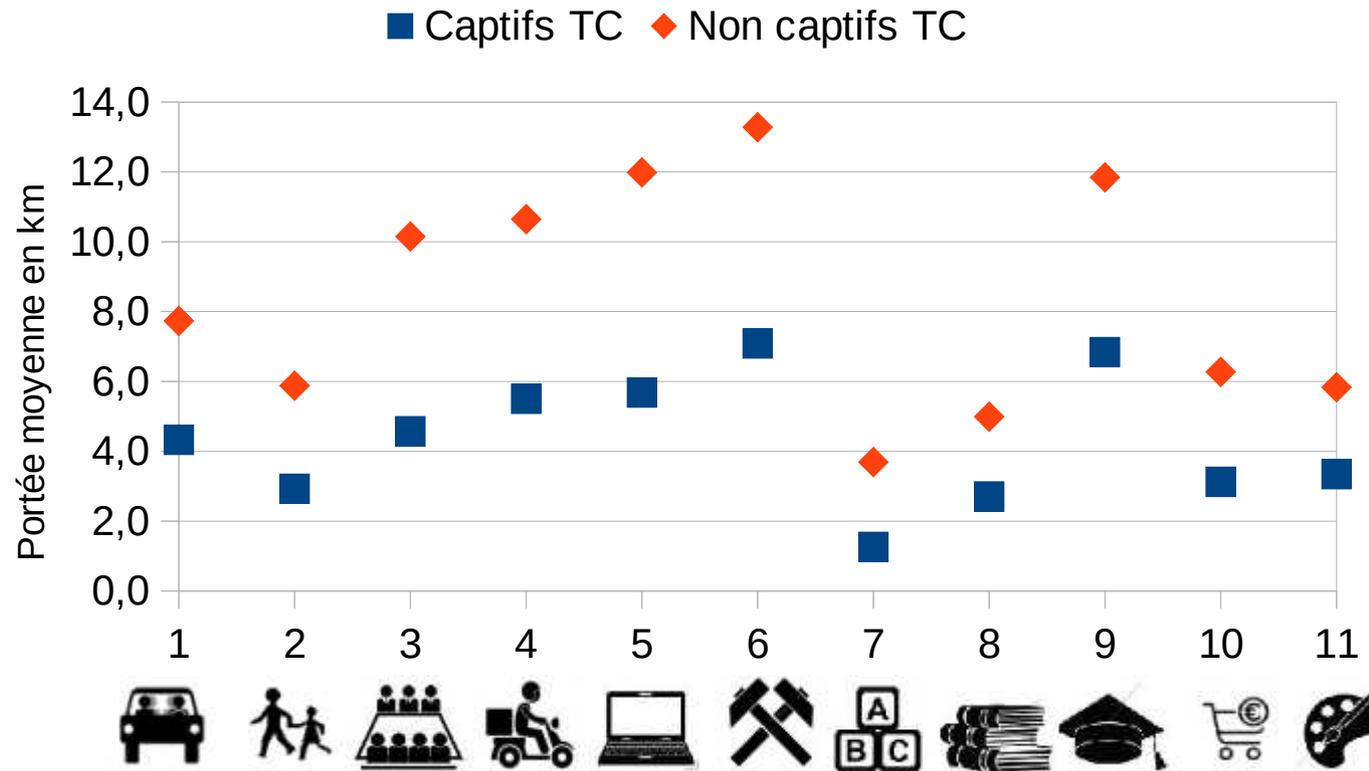
Etudes

Achats-loisirs



Portées moyennes observées

Portée moyenne des déplacements interzonaux en journée



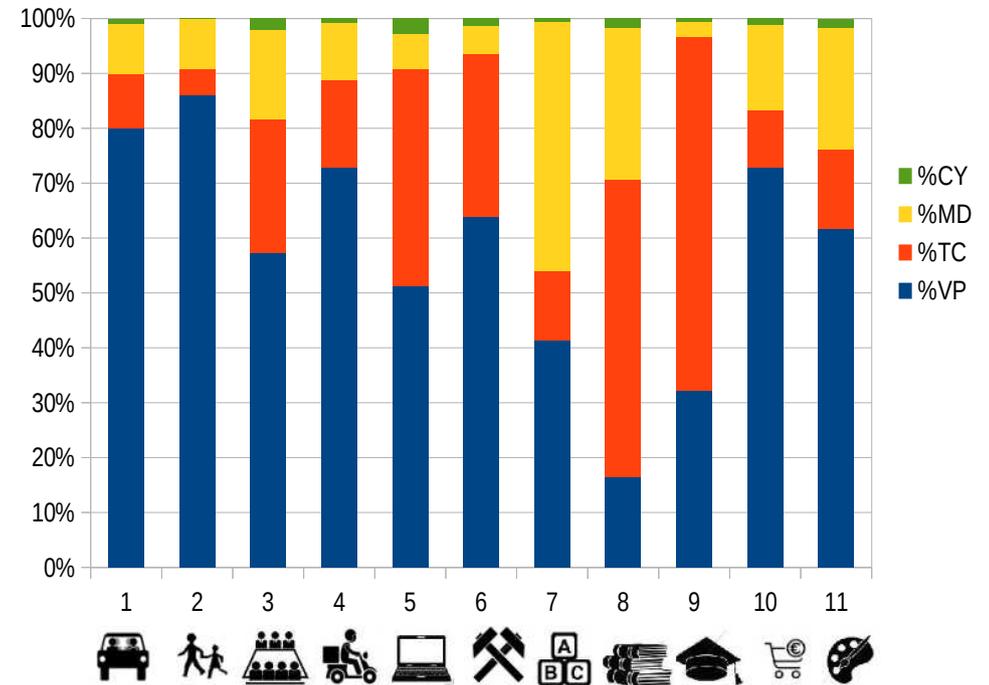
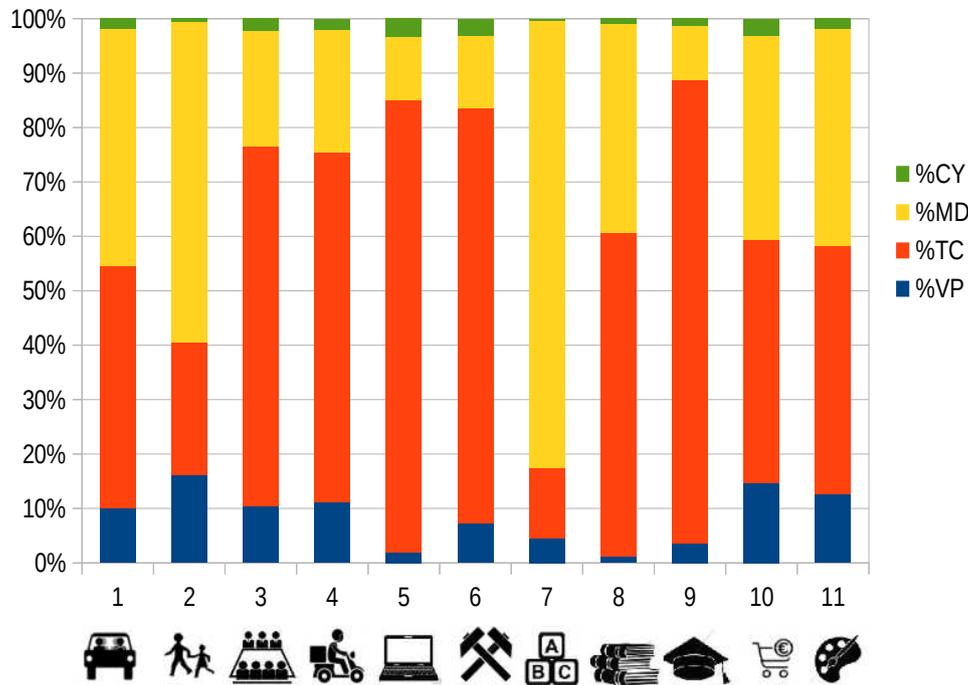
Parts modales observées

Répartition modale des déplacements en journée par motifs combinés

Répartition modale des déplacements en journée par motifs combinés

Usagers captifs des TC (déplacements interzonaux)

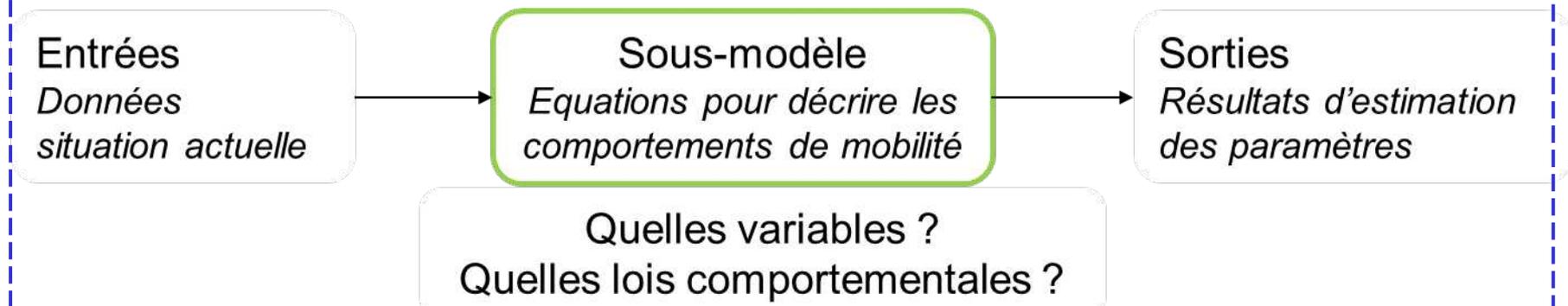
Usagers non captifs des TC (déplacements interzonaux)



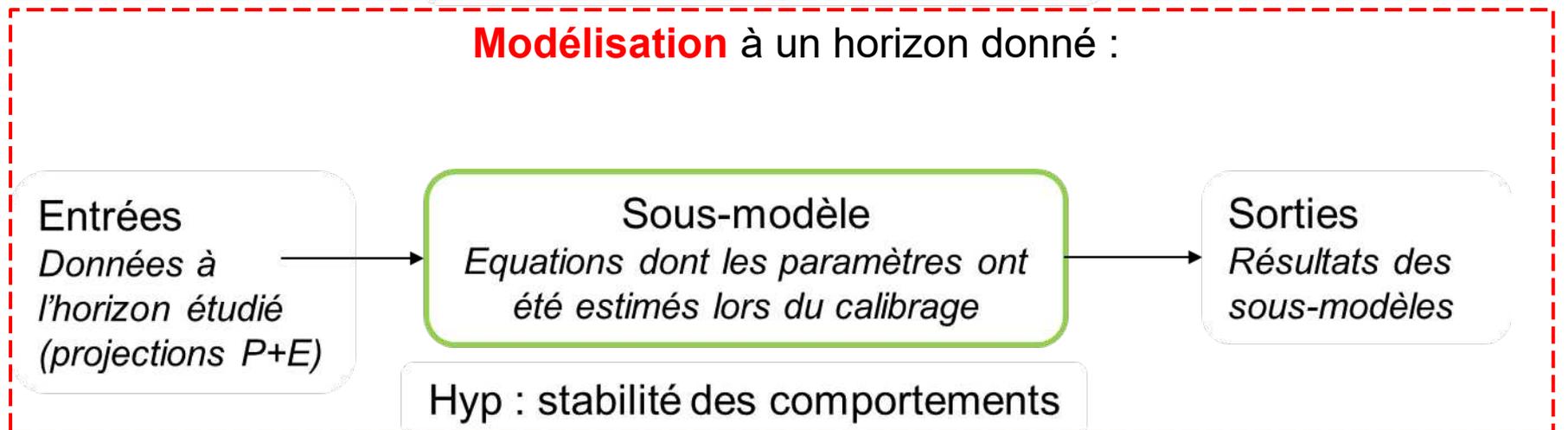
Construire un modèle

Modèle = succession de sous-modèles

Calibrage : estimation des paramètres des lois comportementales de mobilité
→ reproduire la situation actuelle donnée par l'EGT et autres données observées
→ en amont, étape de construction du modèle

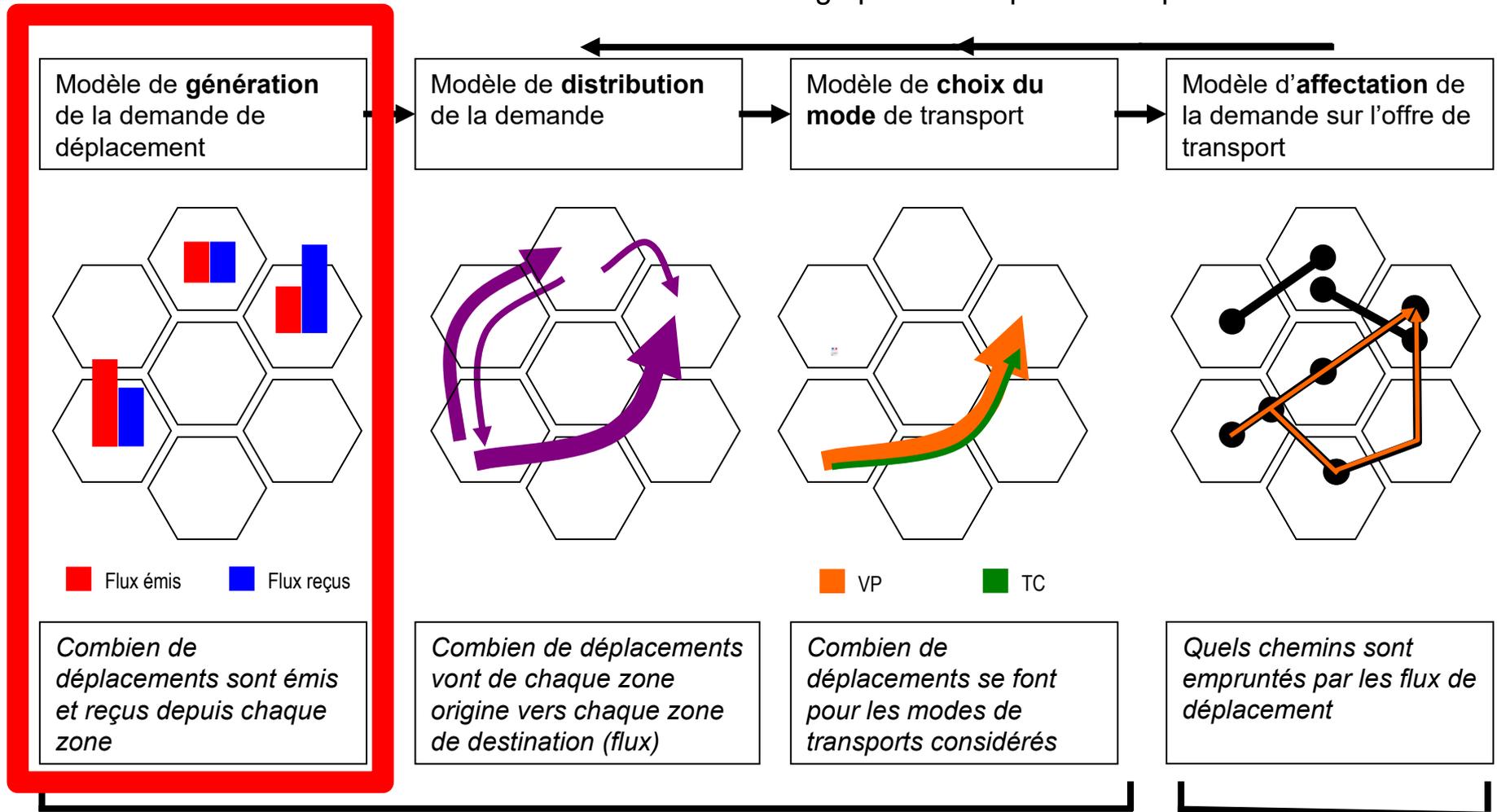


Modélisation à un horizon donné :



Modèle de génération

Bouclage par les temps de transport



**Modélisation
de la demande**

**Modélisation
du trafic**

Génération : modèle linéaire

- 22 modèles de régressions linéaires pour chaque période
- Nombre de déplacements émis et attirés par zone et par segment :

$$Em^{segment}(zone) = \sum_i \beta_i^{segment} \cdot VAR_i(zone) \quad \text{ex : } Em_{PPM}^{travailHQ}(zone) = 0,5 \cdot PACTHQ(zone)$$

$$Att^{segment}(zone) = \sum_j \beta_j^{segment} \cdot VAR_j(zone) \quad \text{ex : } Att_{PPM}^{travailHQ}(zone) = 0,5 \cdot EMPHQ(zone)$$

- Séparation des captifs et non captifs :

$$Em_{captif}^{segment}(zone) = \tau_{captif}^{segment}(\text{département}_{origine}) Em^{segment}(zone)$$

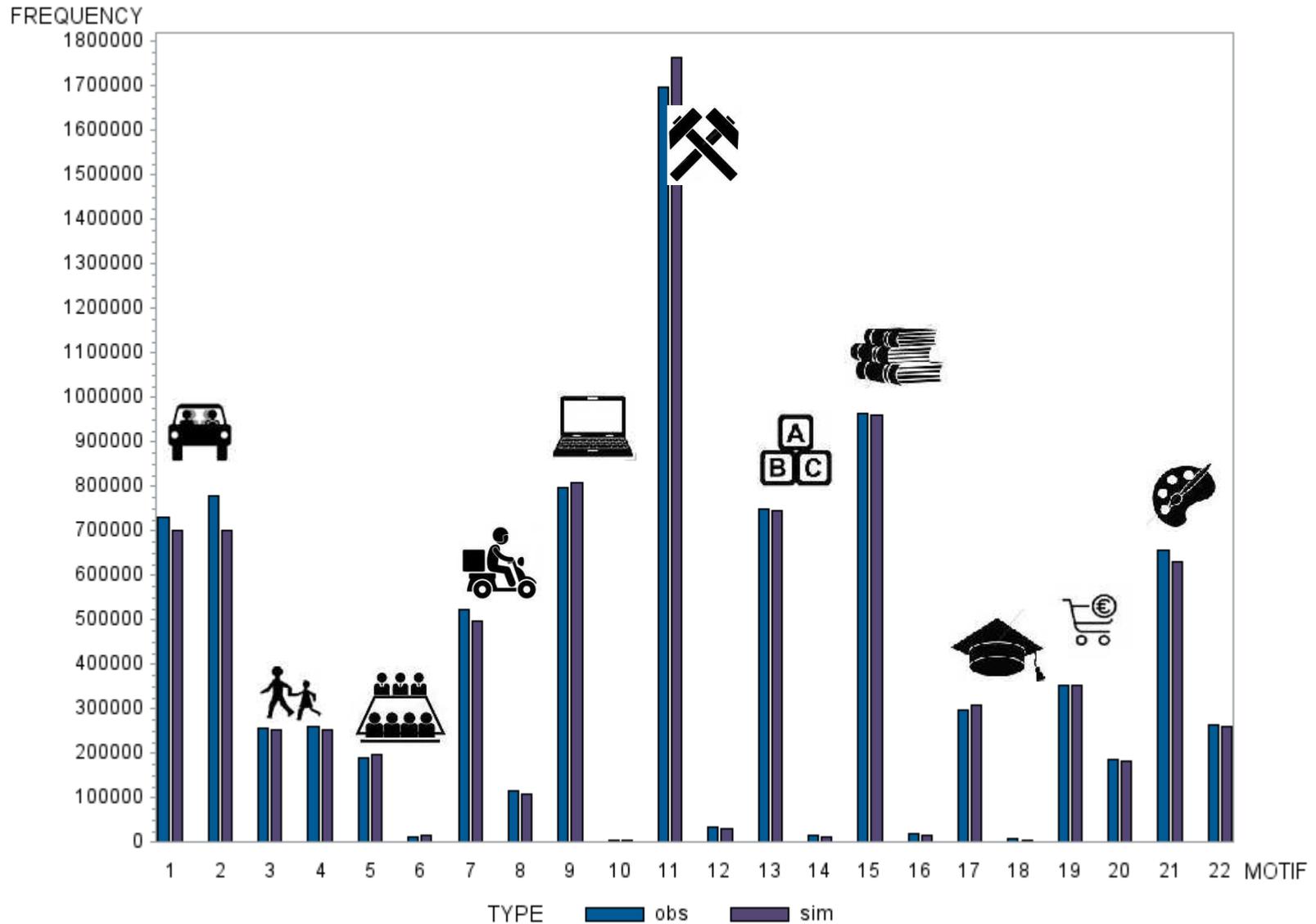
$$Att_{captif}^{segment}(zone) = \tau_{captif}^{segment}(\text{département}_{destination}) Att^{segment}(zone)$$

- Équilibrage des émissions et attractions sur le total régional

$$Em_{équilibré}^{segment}(zone) = \frac{0,5 \cdot \sum_{zone} (Em^{segment}(zone) + Att^{segment}(zone))}{\sum_{zone} Em^{segment}(zone)} Em^{segment}(zone)$$

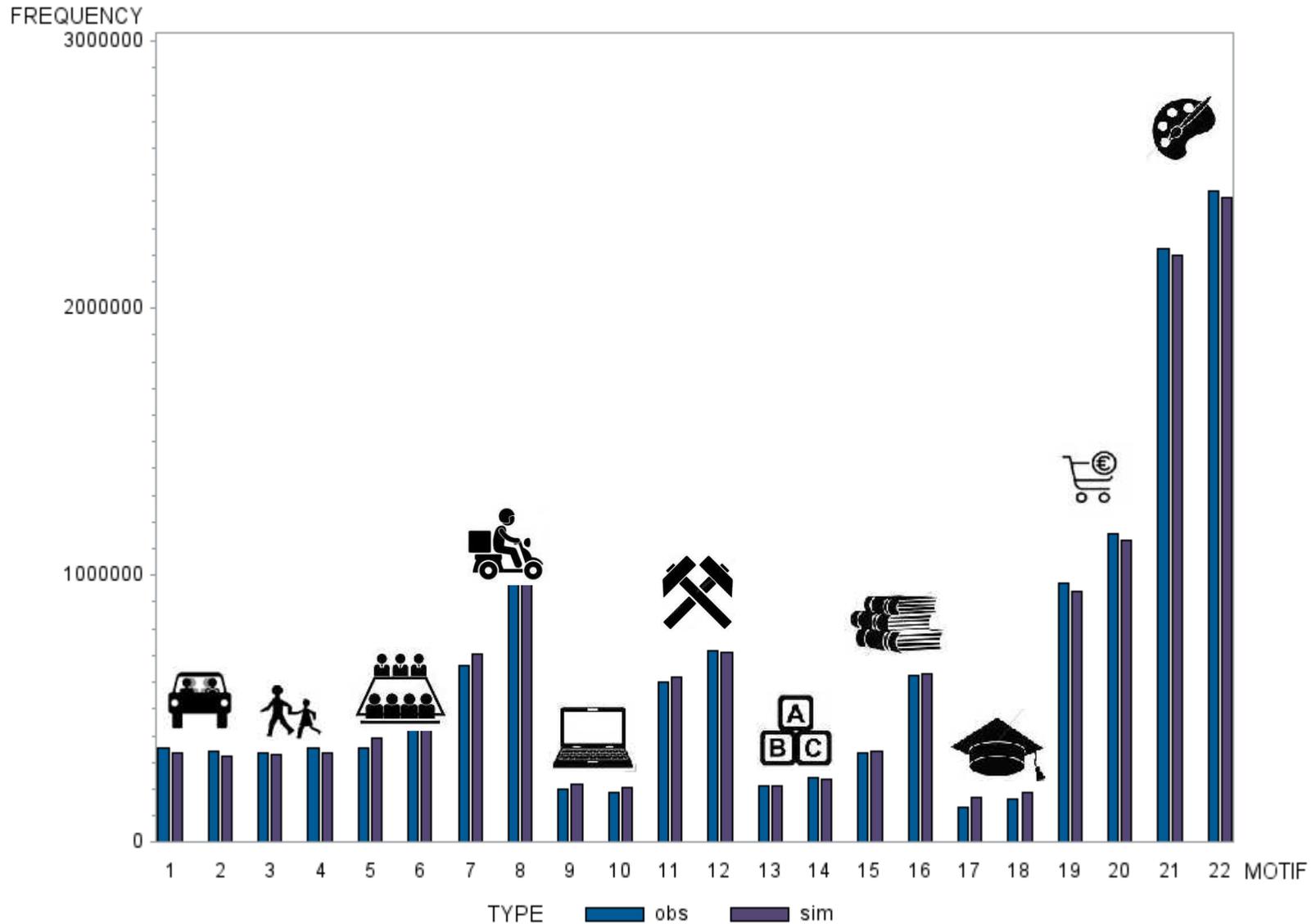
Flux émis entre 6h et 10h

Emissions observées et simulées par motif à l'HPM



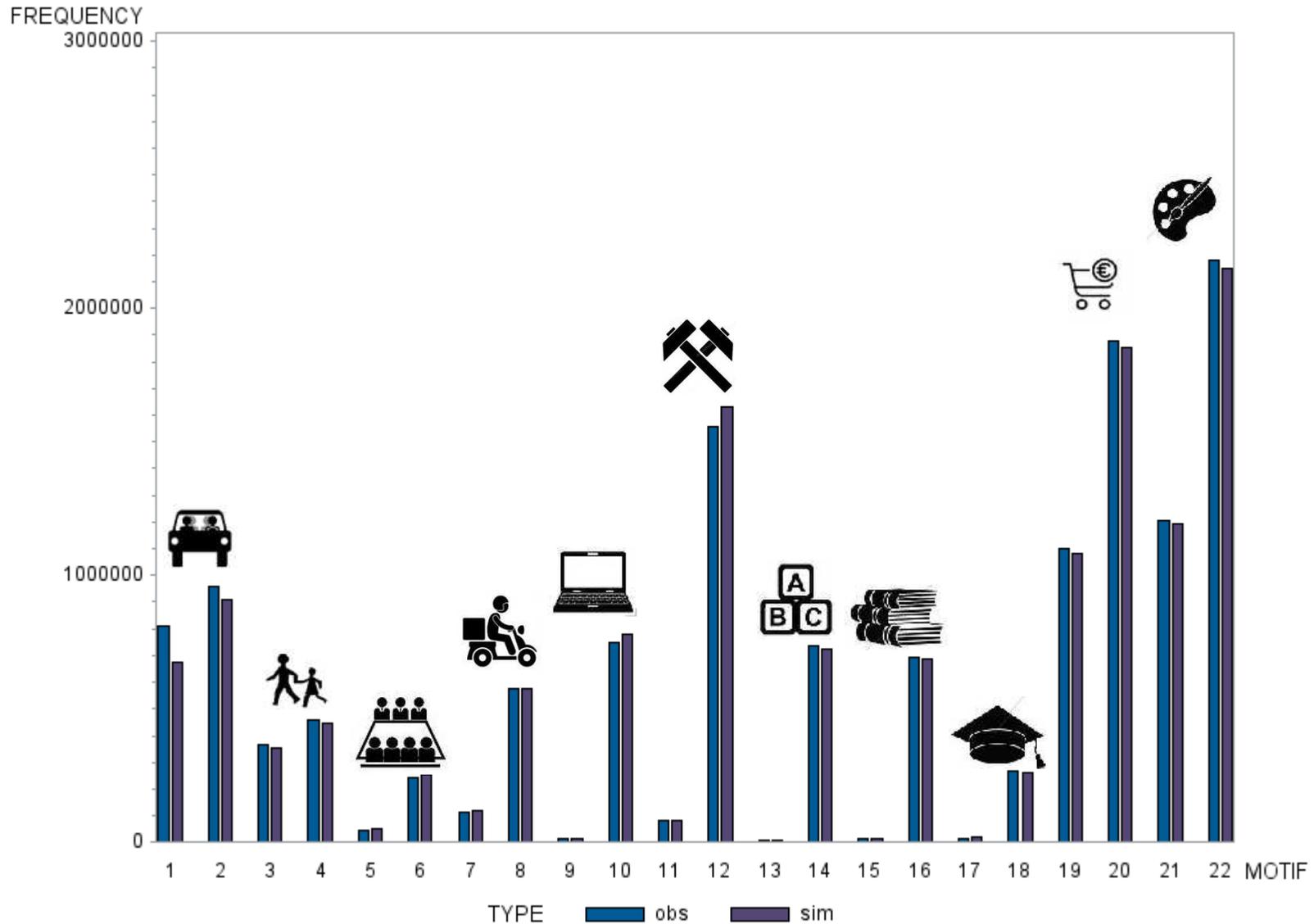
Flux émis entre 10h et 16h

Emissions observées et simulées par motif à l'HC

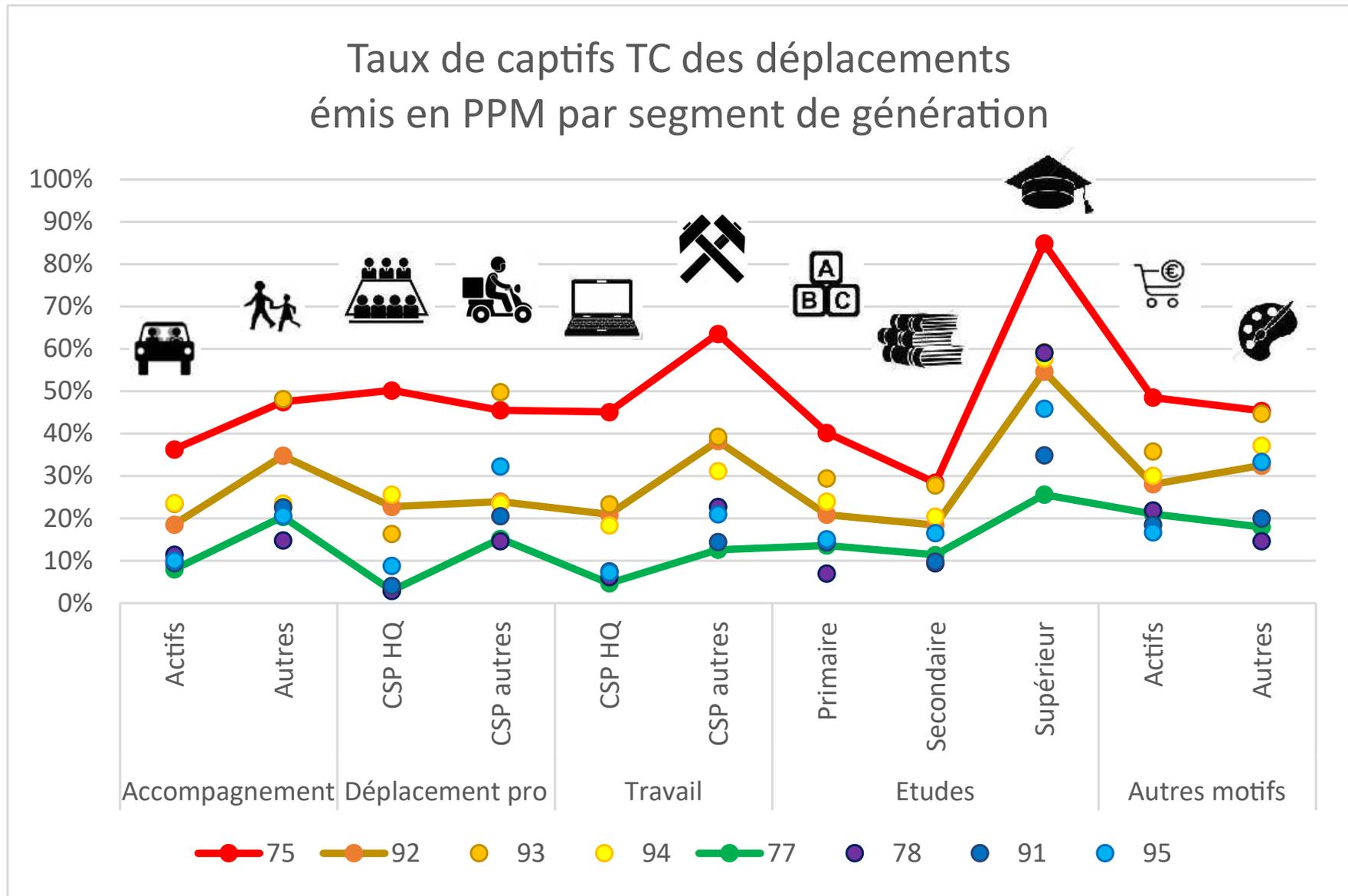


Flux émis entre 16h et 20h

Emissions observées et simulées par motif à l'HPS

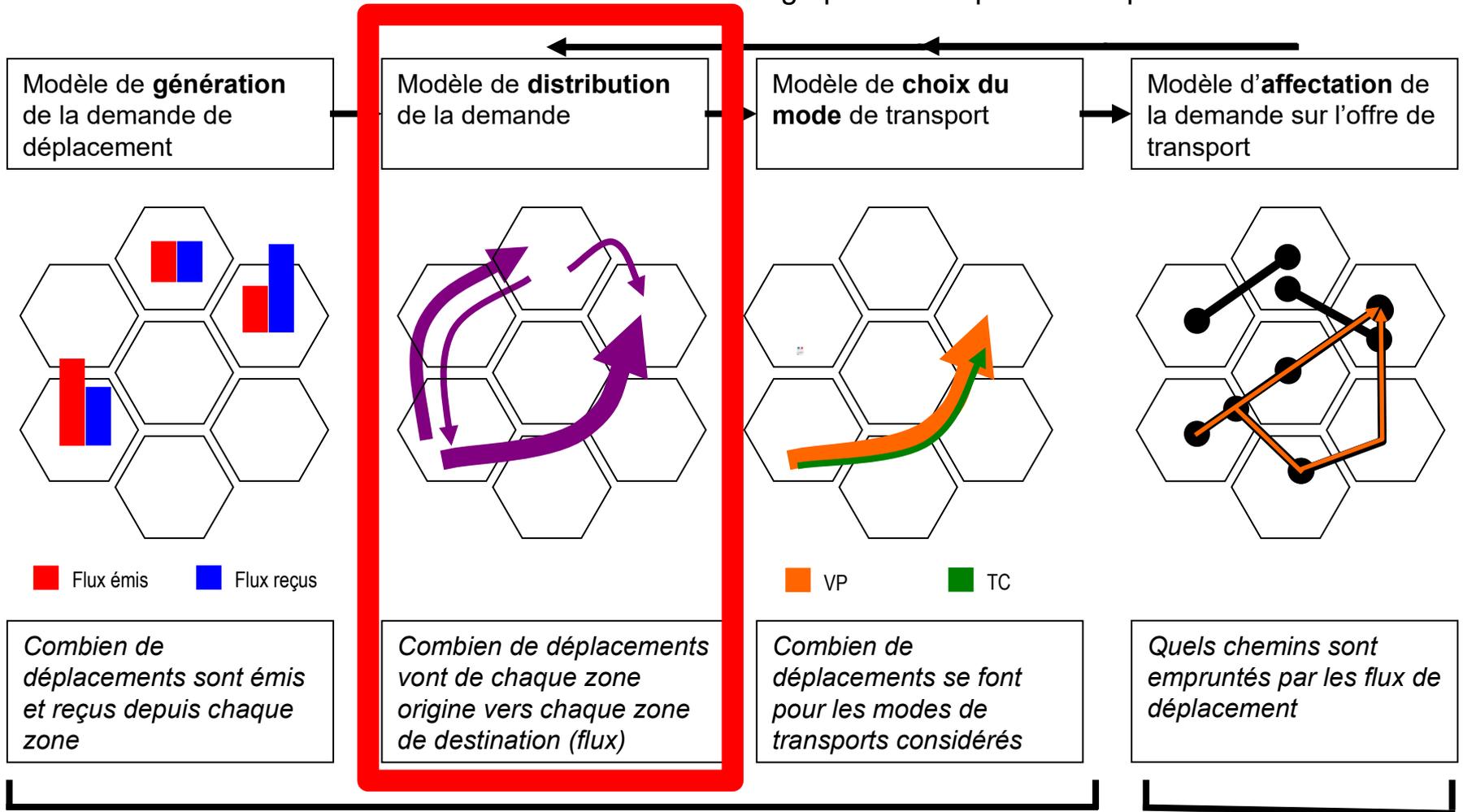


Captivité selon les segments



Modèle de distribution

Bouclage par les temps de transport



Modélisation de la demande

Modélisation du trafic

Distribution : modèle gravitaire

- Modèle gravitaire
 - Utilité totale déduite du calibrage du choix modal avec facteur d'échelle propre à chaque segment de choix modal

$$e^{(V_{totale})} = e^{(\mu V_{TC})} + e^{(\mu V_{VP})} + e^{(\mu V_{MD})} + e^{(\mu V_{CY})}$$

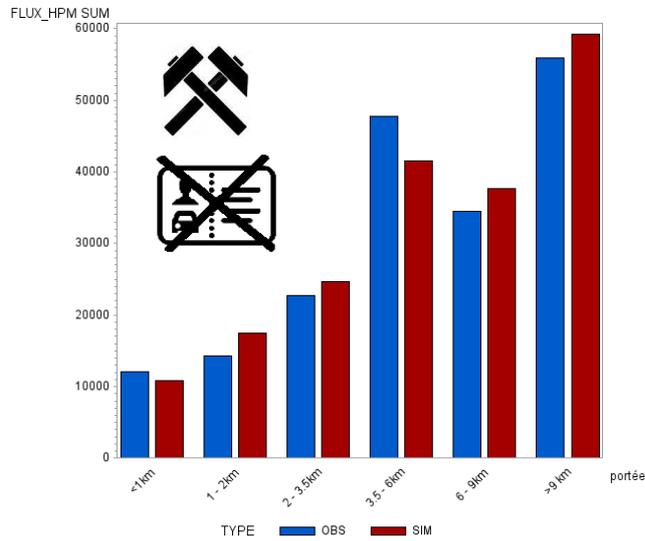
- Paramètre alpha et bêta propre à chaque segment de demande et chaque période horaire

$$F_{ij} = E_i A_j e^{(\alpha V_{totale})} \text{ ou } F_{ij} = E_i A_j e^{(\alpha V_{totale})} (-V_{totale})^\beta$$

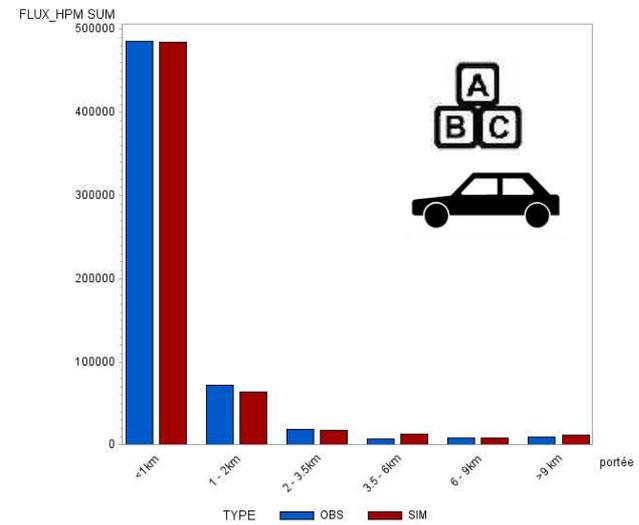
- Emploi d'un algorithme de Fratar pour caler la matrice sur les émissions et attractions

Distribution : résultats

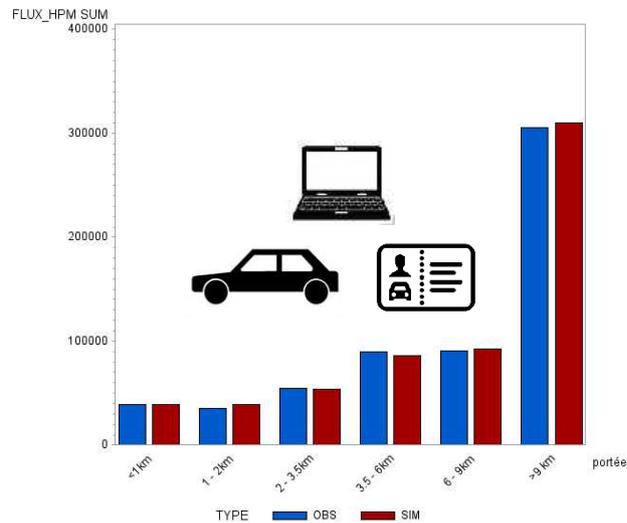
Volume par catégorie et motif à l'HPM
CAT=1 MOTIF_D=6



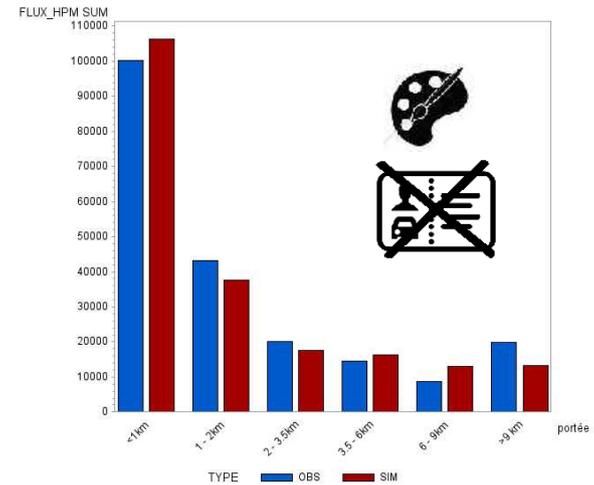
Volume par catégorie et motif à l'HPM
CAT=2 MOTIF_D=8



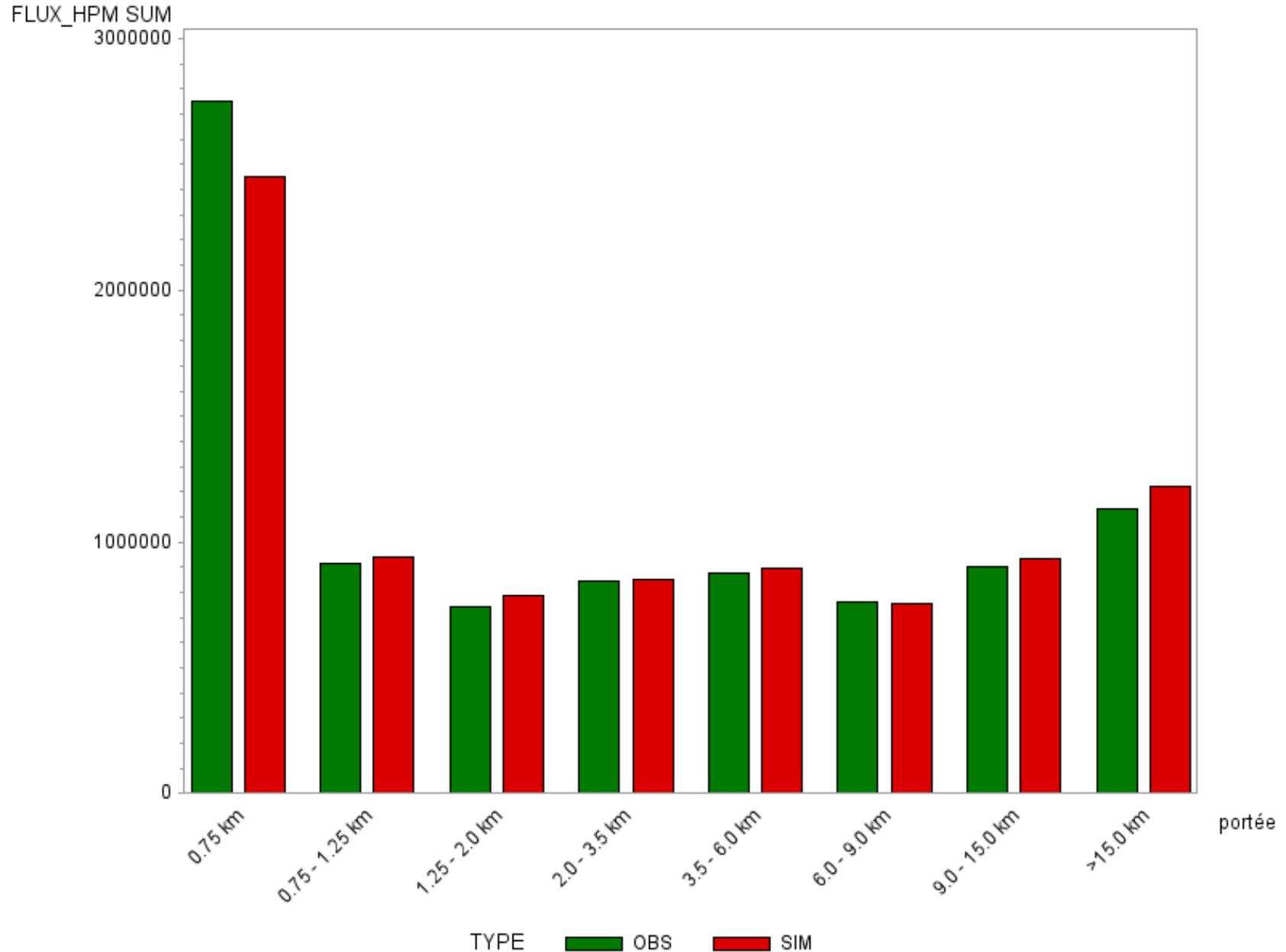
Volume par catégorie et motif à l'HPM
CAT=2 MOTIF_D=6



Volume par catégorie et motif à l'HPM
CAT=1 MOTIF_D=13

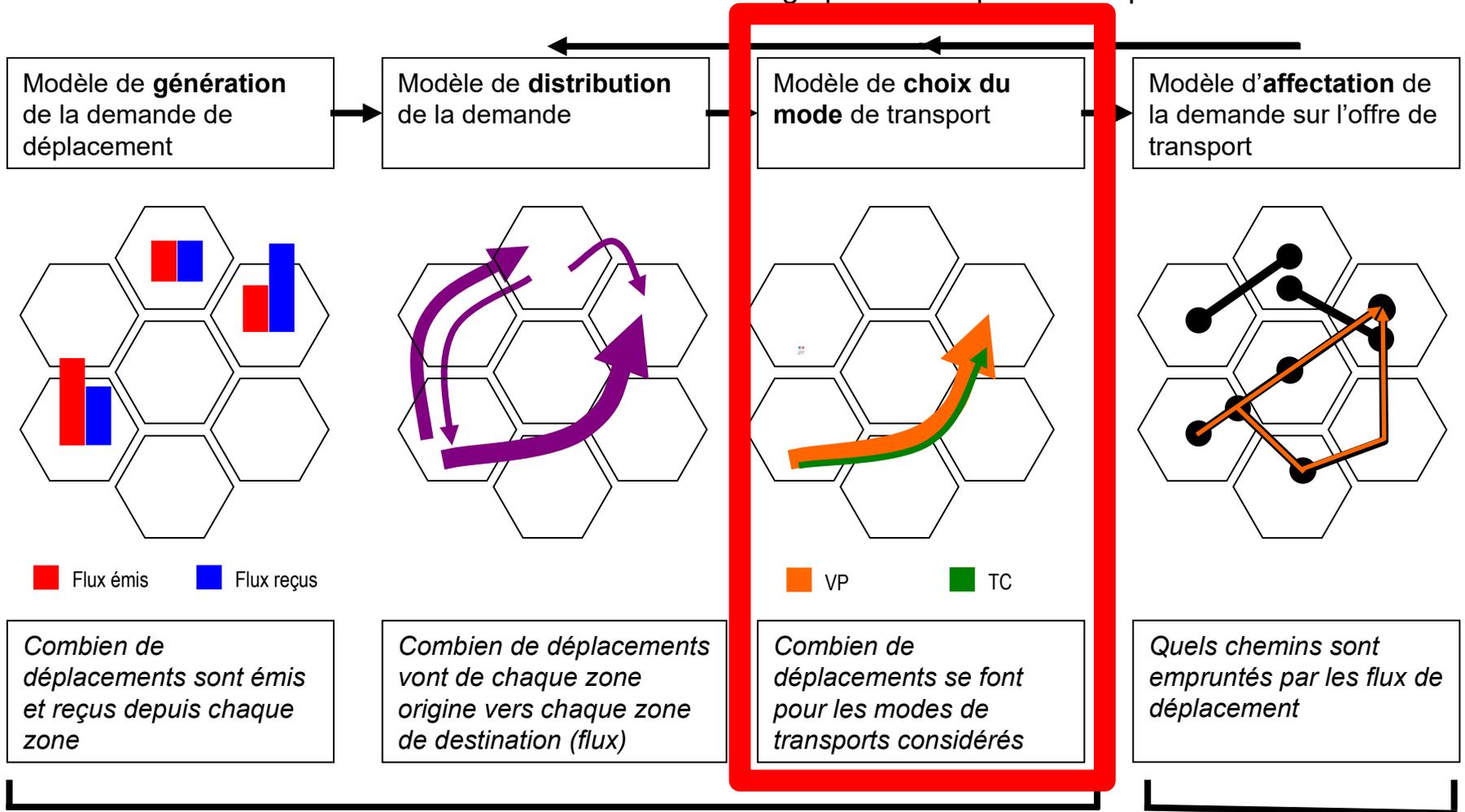


Distribution : résultats



Modèle de choix modal

Bouclage par les temps de transport

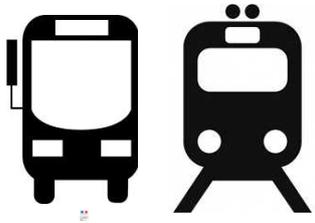


**Modélisation
de la demande**

**Modélisation
du trafic**

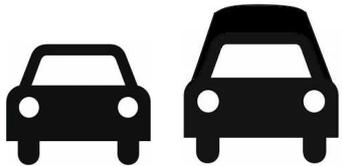
Modes de déplacement

- 4 modes principaux de déplacement avec leurs caractéristiques :



TC : Bus public, Bus/Car scolaire, Tramway, Métro, RER, Transilien, Train, TàD

- Temps moyens (rabattement+correspondance+accès, attente, véhicule)
- Coût moyen abonnement - Billet OD (€ 2010)



VP : VP-VU- 2RM conducteur/passager, Taxis

- Temps de parcours de l'affectation PPM, PCJ ou PPS à l'équilibre
- Coût moyen carburant/usure/péage = portée x 1,3 x 0,242 (€ 2010)
- Contrainte de stationnement = % stationnement payant/interdit macrozone



MD : Marche, Trottinette, Roller, Fauteuil roulant

- Temps de parcours = portée x 1,3 (coefficient de détour) x 4 (vitesse km/h)



CY : Vélo, Vlib, Vélo à assistance électrique, Vélo en libre service

- Temps de parcours = portée x 1,3 (coefficient de détour) x 15 (vitesse km/h)
- Capacité Vlib = $(\text{CapVlib Origine} * \text{CapVlib Destination})^{0,5}$

Choix modal : logit MNL

- Le modèle non segmenté à l'heure de pointe

- 4 modes possibles : VP / TC / MD / CY
- Un modèle logit non linéaire avec 4 TBC et 1 TBT
- Estimation simultanée sur les observations des 3 périodes

Transformée Box-Cox :
pour x positif,

$$B(x, \lambda) = \begin{cases} \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \log(x) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases}$$

$$V_{TC} = CONST_{TC} + \frac{\beta_{CTTC} * (CTTC^{(\lambda_{coût})} - 1)}{\lambda_{coût}} + \frac{\beta_{TTC} * (TTC^{(\lambda_{TpsVéh})} - 1)}{\lambda_{TpsVéh}} + \frac{\beta_{TAT} * (TAT^{(\lambda_{TAT})} - 1)}{\lambda_{TAT}} + \beta_{TR} * TR$$

$$V_{VP} = CONST_{VP} + \frac{\beta_{CTVP} * (CTVP^{(\lambda_{coût})} - 1)}{\lambda_{coût}} + \frac{\beta_{TVP} * (TVP^{(\lambda_{TpsVéh})} - 1)}{\lambda_{TpsVéh}} + \frac{\beta_{CSTAT} * ((CSTAT + 1)^{(\lambda_{CSTAT})} - 1)}{\lambda_{CSTAT}}$$

$$V_{MD} = \beta_{TMD} * TMD$$

$$V_{CY} = CONST_{CY} + \frac{\beta_{TCY} * (TCY^{(\lambda_{TCY})} - 1)}{\lambda_{TCY}} + \beta_{VLIB} * \sqrt{(CAPVELIB_{origine} * CAPVELIB_{destination})}$$

$$\forall mode \in \{TC, VP, MD, CY\}, p_{mode} = \frac{e^{(V_{mode})}}{(e^{(V_{TC})} + e^{(V_{VP})} + e^{(V_{MD})} + e^{(V_{CY})})}$$

Choix modal : alternative

- La segmentation par période et par catégorie via la constante
 - une dummy de captivité ajustant les parts modales pour les captifs et les non captifs (CAPTTC)
 - une dummy de période ajustant les parts modales pour la période de pointe du soir (DUMHPS) et la période creuse de jour (DUMHC)

$$CONST_{TC} = CONST_{TC} + \beta_{TC} * CAPTTC + \beta_{TC} * DUMHPS + \beta_{TC} * DUMHC$$

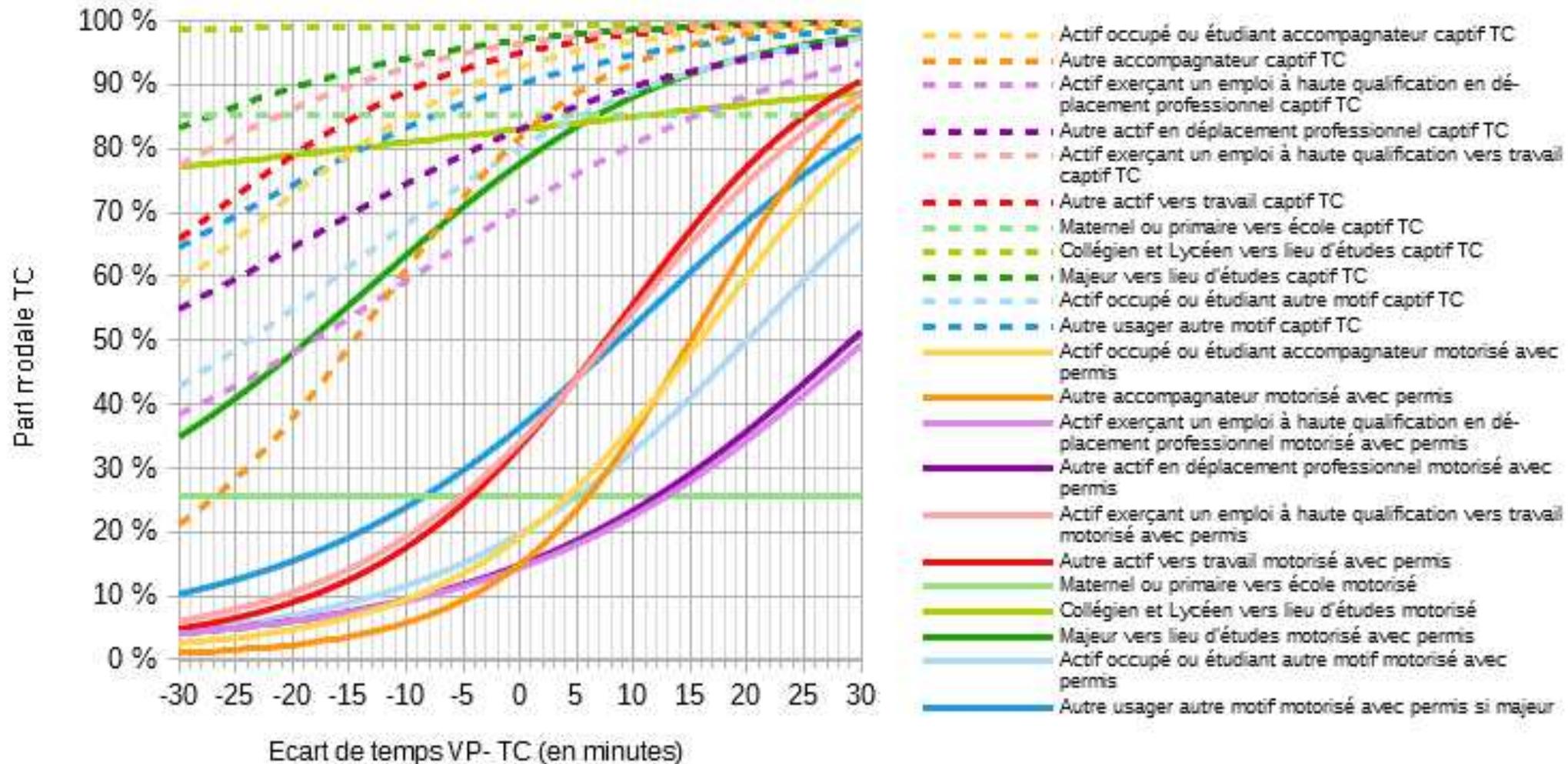
$$CONST_{VP} = CONST_{VP} + \beta_{VP} * CAPTTC + \beta_{VP} * DUMHPS + \beta_{VP} * DUMHC$$

$$CONST_{CY} = CONST_{CY} + \beta_{CY} * CAPTTC + \beta_{CY} * DUMHPS + \beta_{CY} * DUMHC$$

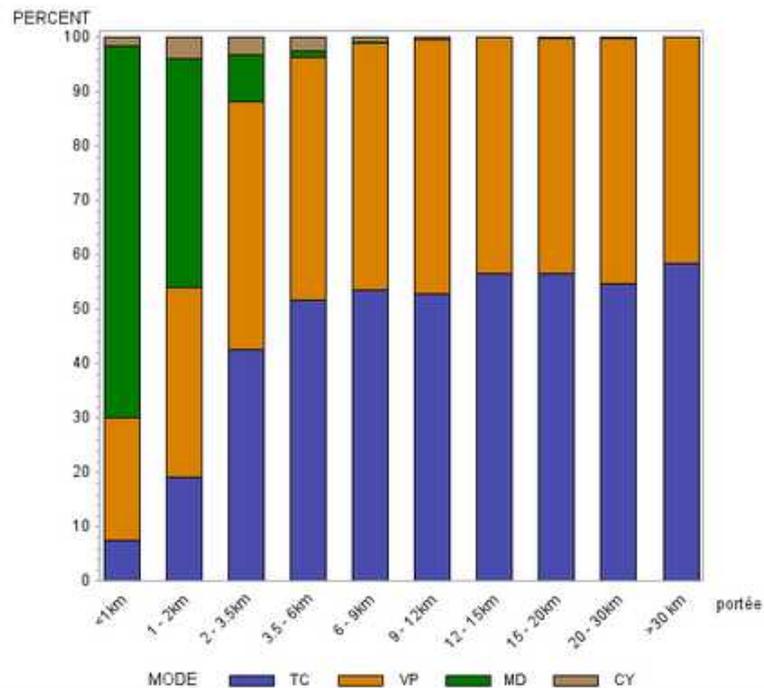
- La segmentation par motifs combinés
 - estimation des paramètres sur chacun de 11 segments
 - retrait des variables dont les paramètres sont non significatifs

Choix modal : sensibilité

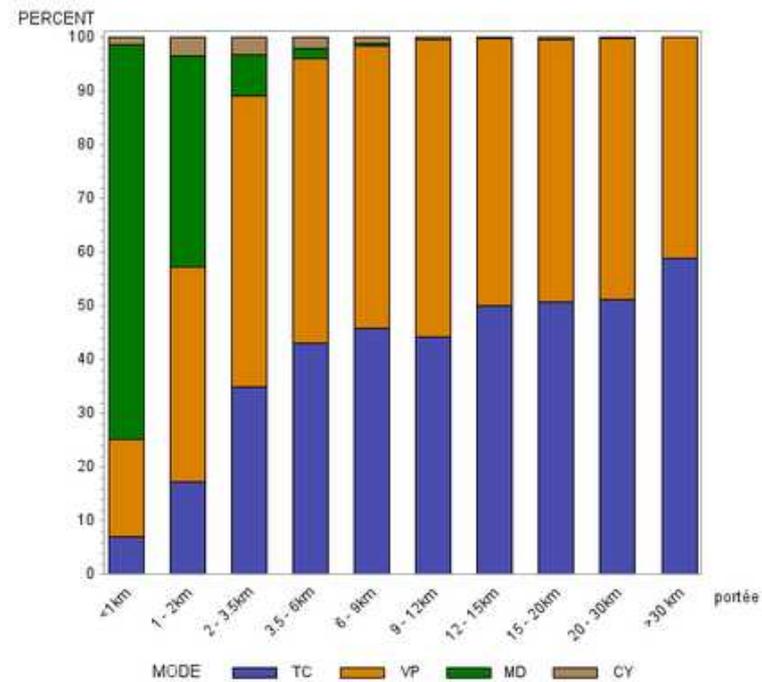
Part modale TC pour un trajet de 45 minutes selon l'écart TC-VP en temps de parcours



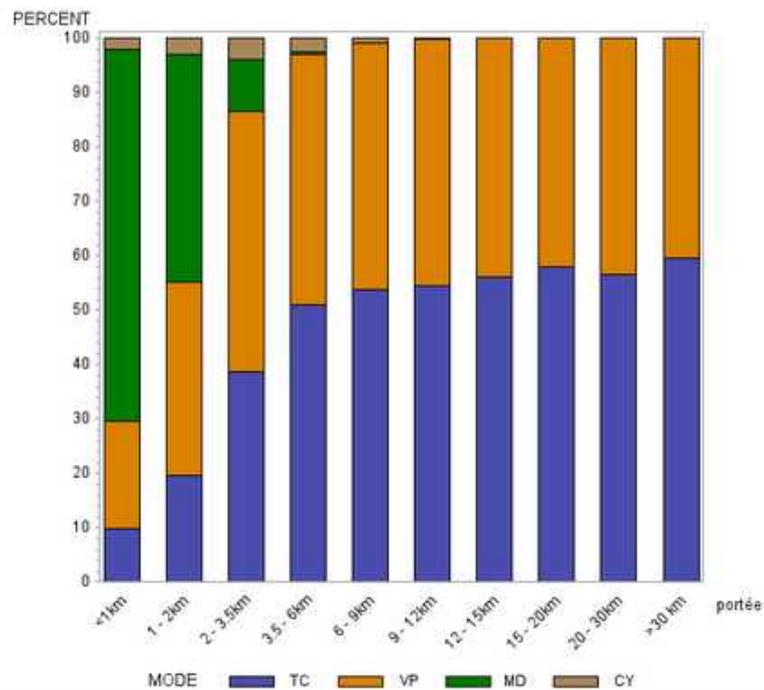
Part modale selon la portée à l'HPM
TYPE=OBS



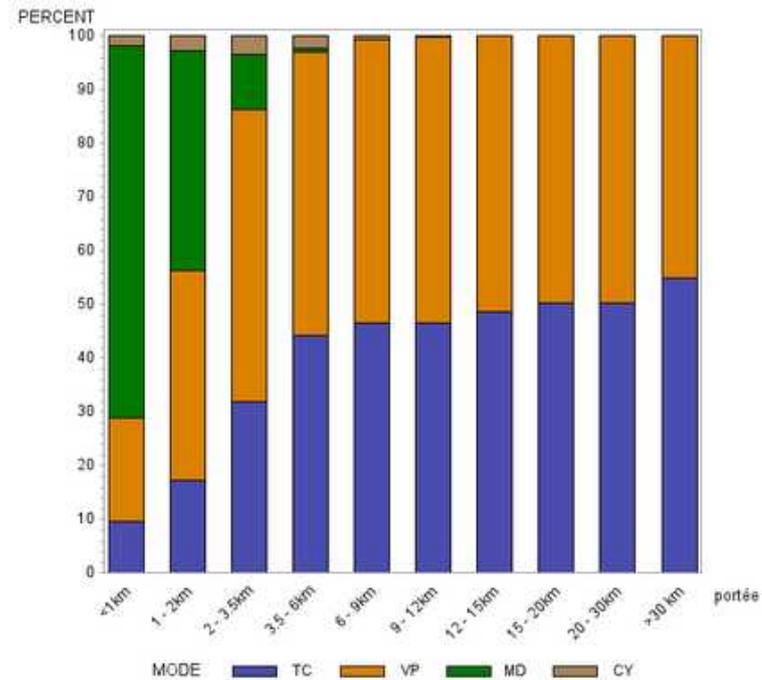
Part modale selon la portée à l'HPS
TYPE=OBS



Part modale selon la portée à l'HPM
TYPE=SIM



Part modale selon la portée à l'HPS
TYPE=SIM



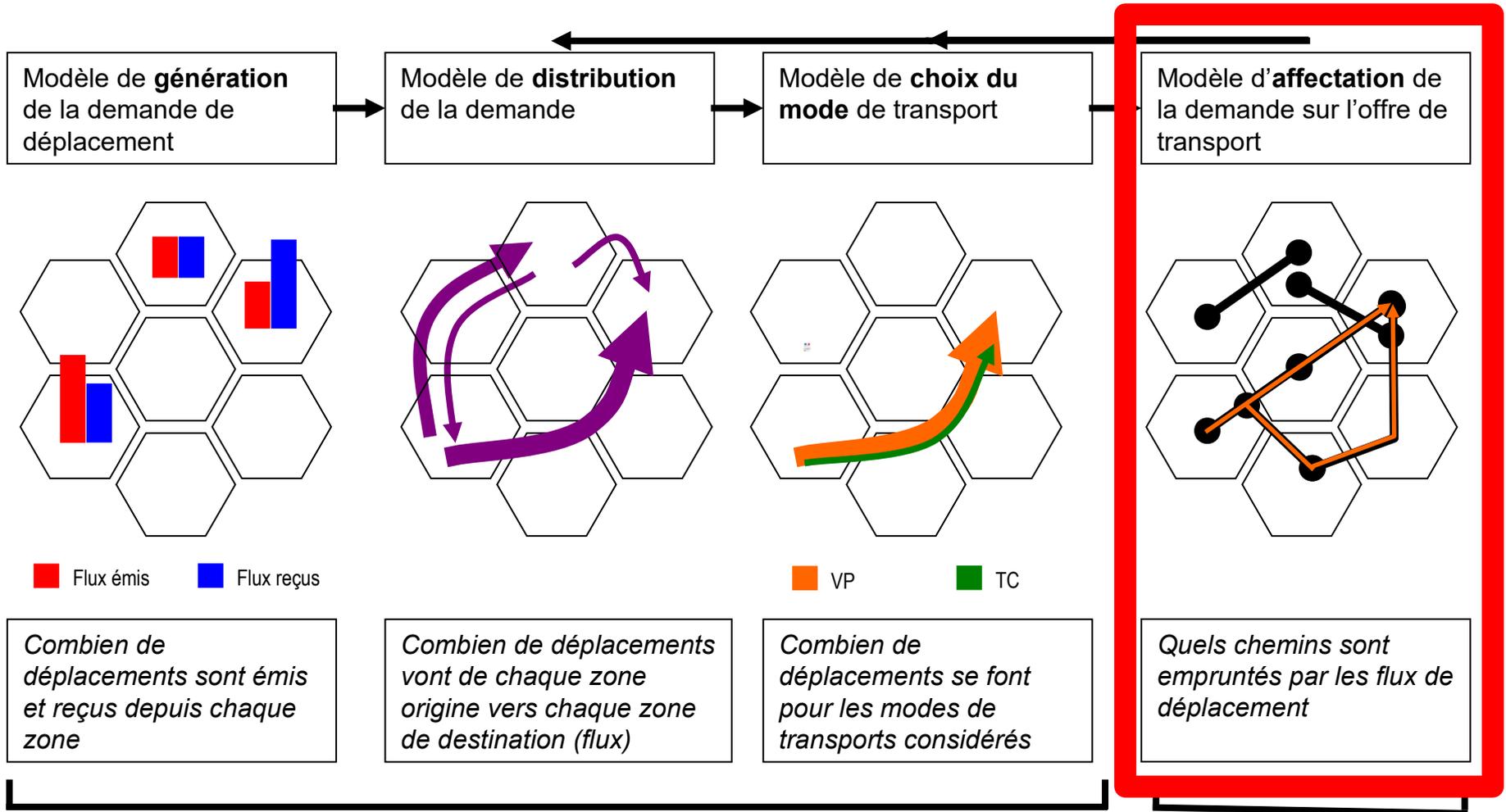
Finalisation des matrices

- Matrice UVP (unité de véhicule particulier)
 - Division des flux par les taux d'occupation par segment et classe de distance
 - Ajout des flux cordons routiers VP et des flux aéroports passagers
 - Calcul des flux PL séparée (1PL = 2UVP lors de l'affectation)

- Matrice TC (voyageur en transports collectifs)
 - Ajout des flux entrant et sortant des gares
 - Ajout des flux entrant et sortant des aéroports
 - Prise en compte des répartitions des heures de départ selon le département d'origine et de destination (16 profils type de distribution par période)

Modèle d'affectation

Bouclage par les temps de transport

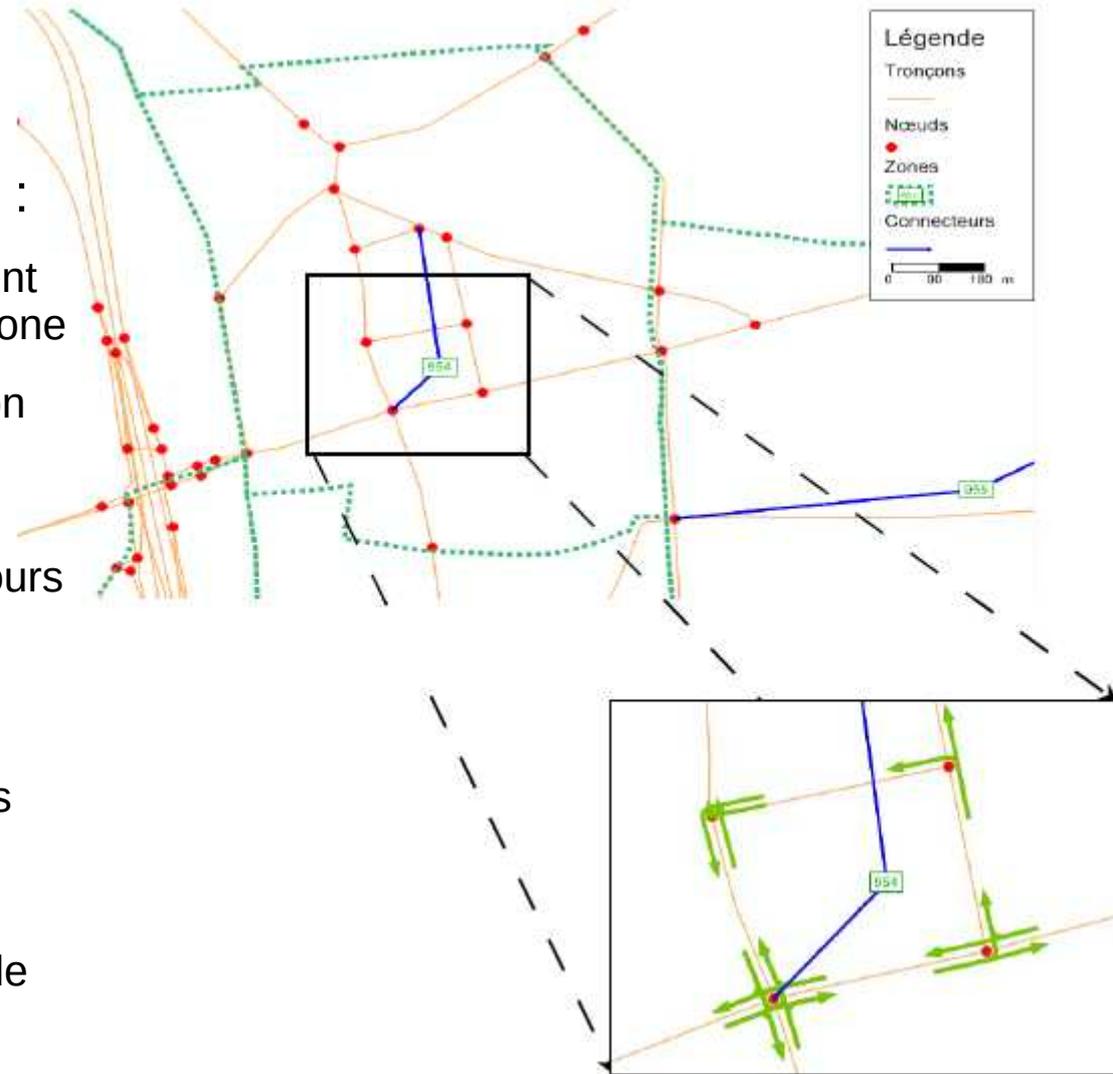


Modélisation de la demande

Modélisation du trafic

Le réseau routier

- Éléments structurants du réseau :
 - Les **centroïdes de zone** représentent le point d'entrée et de sortie d'une zone
 - Les **tronçons** représentent la section courante des voies de circulation routière
 - Les **nœuds** représentent les carrefours et tous les points d'échanges entre tronçons
 - Les **mouvements aux nœuds** représentent les échanges possibles entre tronçons au droit d'un nœud
 - Les **connecteurs de centroïde** représentent les trajets permettant de rejoindre le réseau routier modélisé depuis la zone, et réciproquement

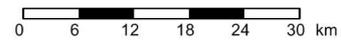


Le réseau routier

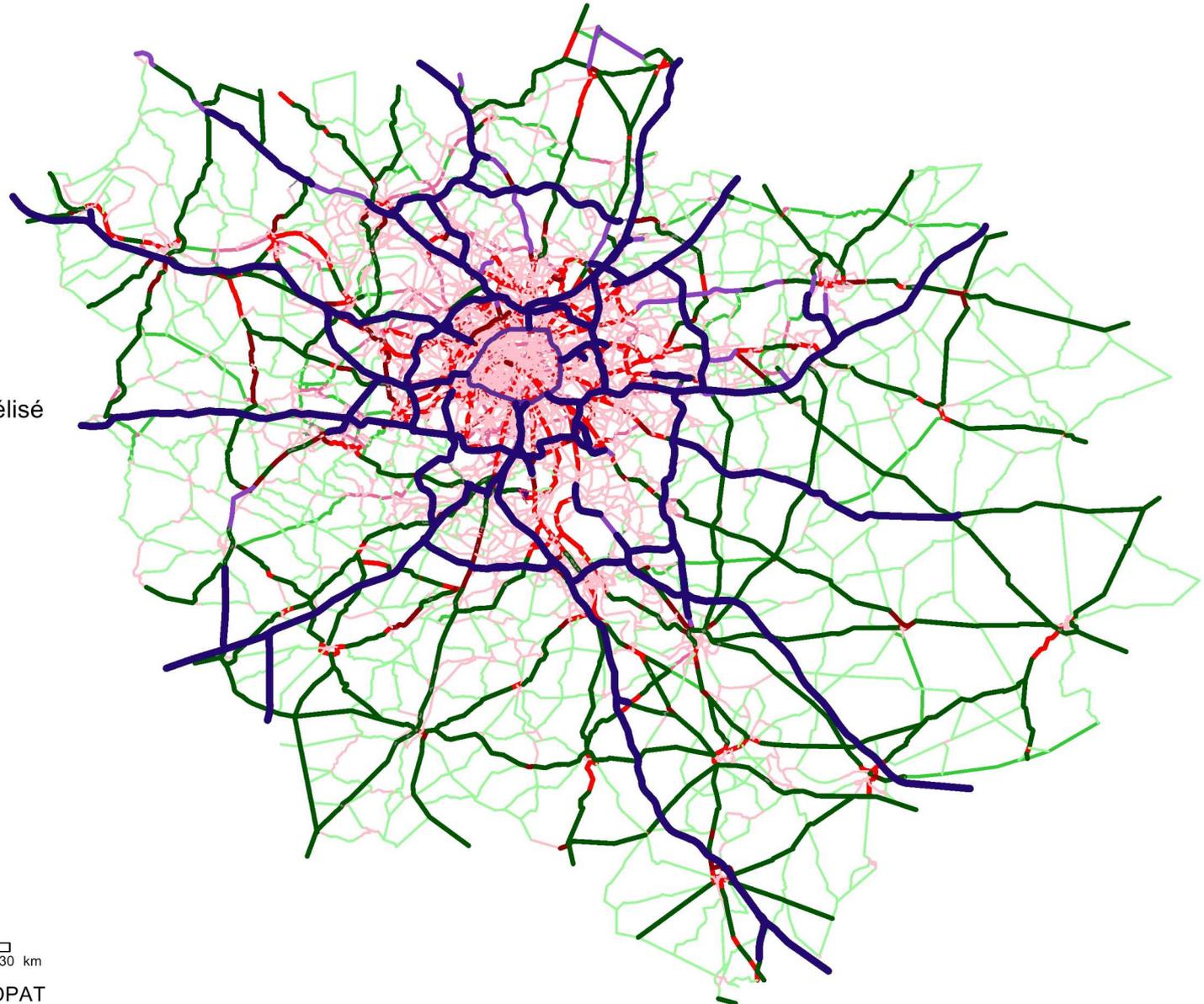
Réseau routier modélisé
de la DRIEA

Types de tronçon

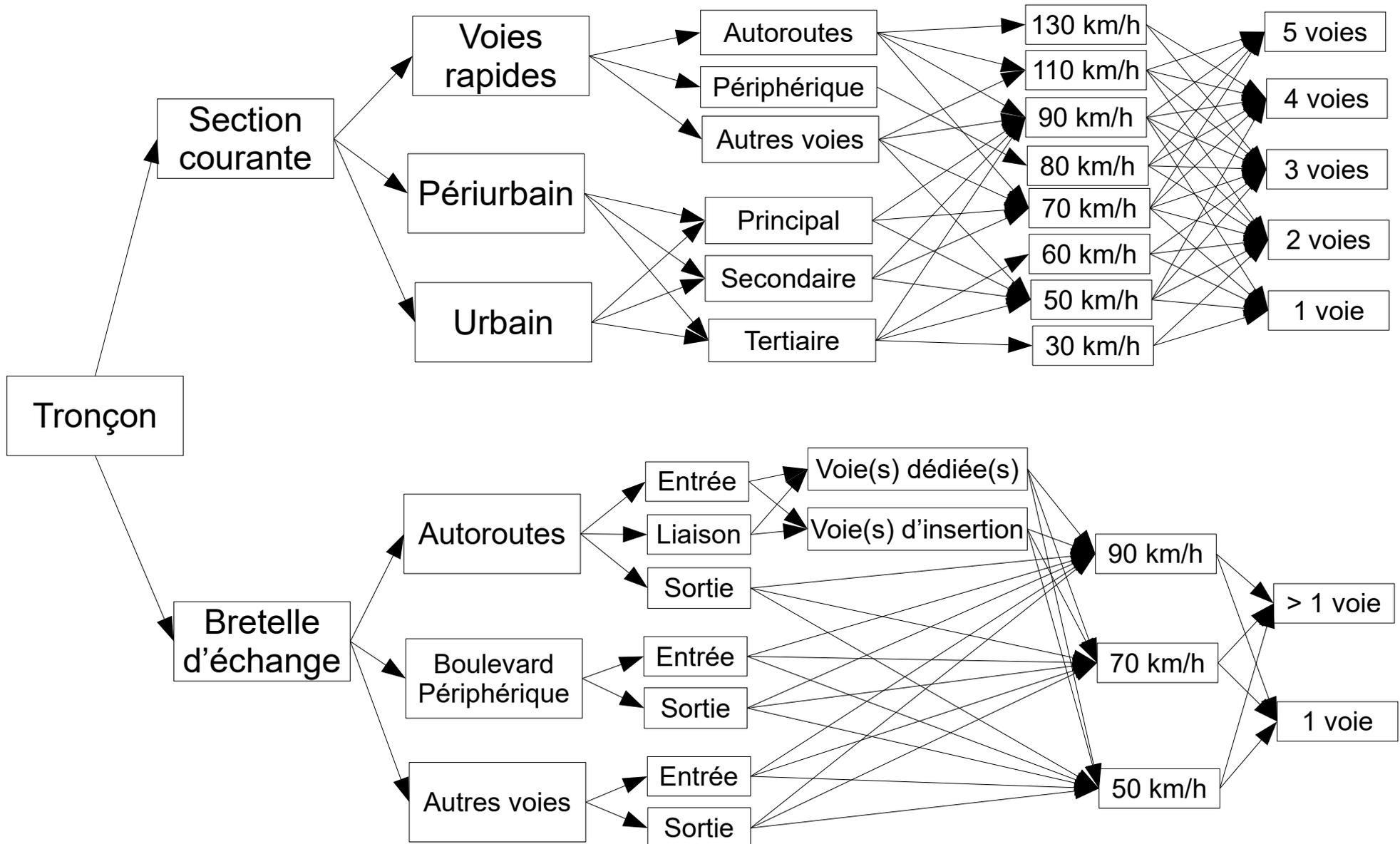
-  VCA
-  BP
-  VR autre
-  Bretelles
-  Périurb. princ.
-  Urb. princ. 70
-  Urb. princ. 50
-  Périurb. sec.
-  Urb. sec.
-  Périurb. ter.
-  Urb. ter.
-  Voie 30



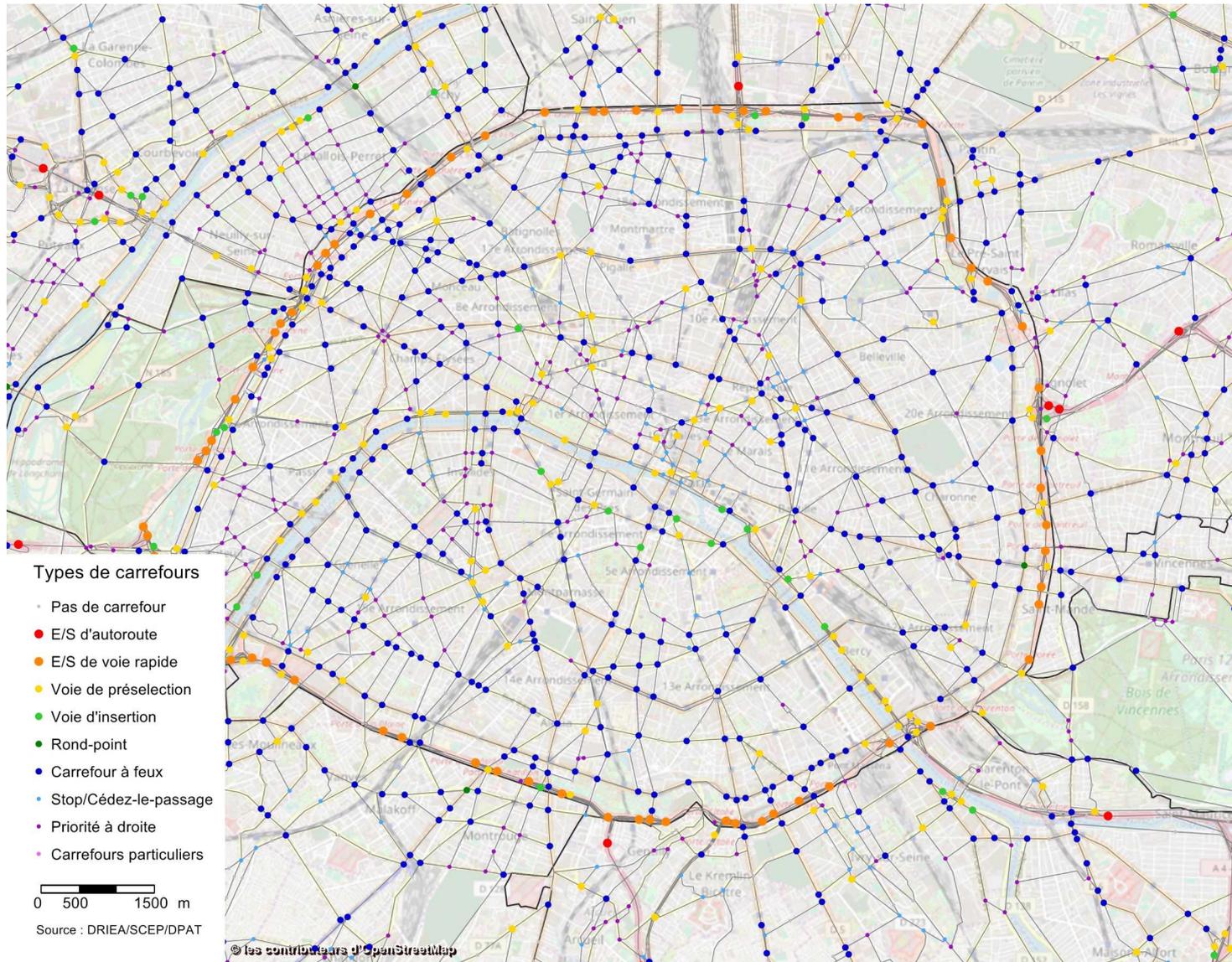
Source : DRIEA/SCEP/DPAT



Hiérarchie des types de tronçon



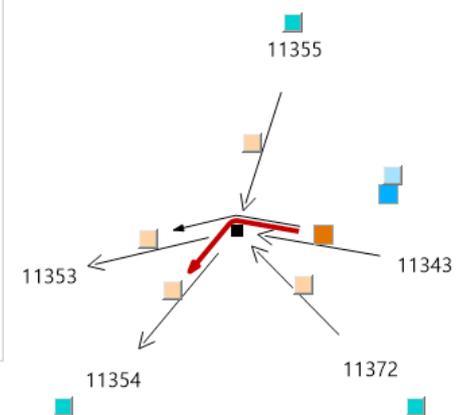
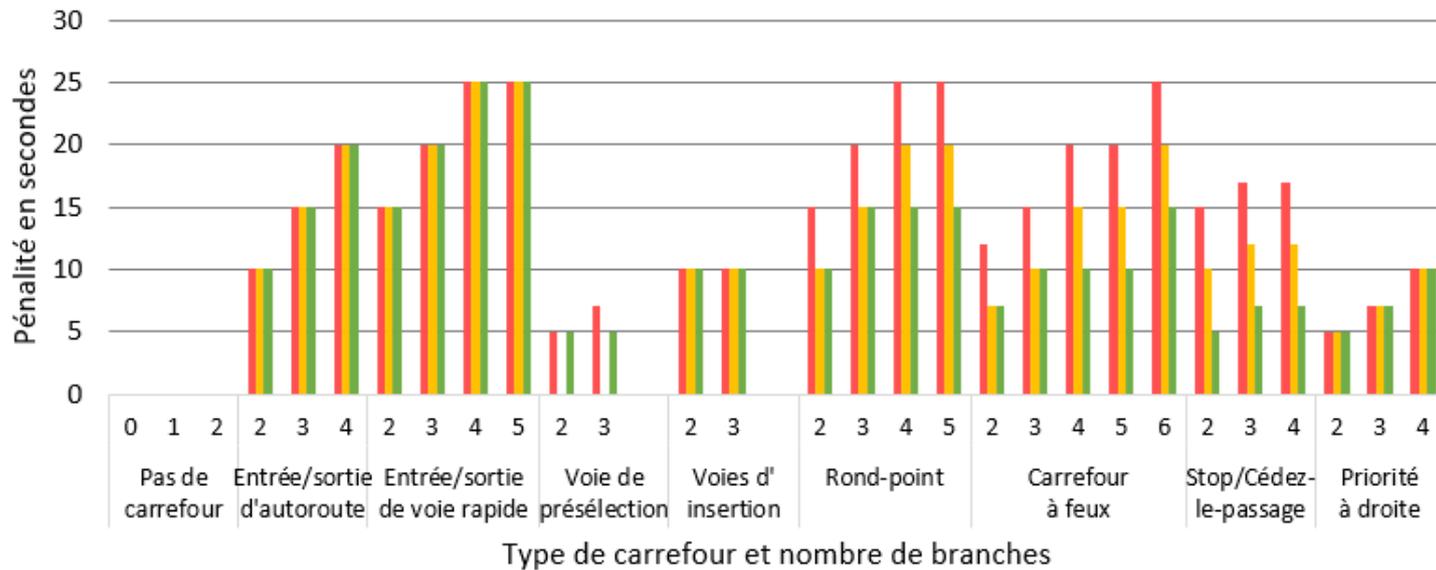
Les types de noeuds



Pénalités de mouvement

Pénalités pour aller d'une voie secondaire vers une voie principale

■ tourne à gauche
 ■ tout droit
 ■ tourne à droite



Mouvements au noeud : 6	1	2	3	4	5	6
NumNoeudO	13307	13307	13317	13317	13298	13298
NumTronO	11355	11355	11372	11372	11343	11343
TronçonOrig\OrientationNoeudD	N	N	SE	SE	E	E
NumTronD	11353	11354	11353	11354	11353	11354
TronçonDest\OrientationNoeudO	O	SO	O	SO	O	SO
NumNoeudD	13289	13305	13289	13305	13289	13305
NumType	1	2	3	3	2	3
EnsSysTr	P.V	P.V	P.V	P.V	P.V	P.V
CapaTI	99999	99999	99999	99999	99999	99999
t0TI	8s	8s	15s	15s	10s	15s

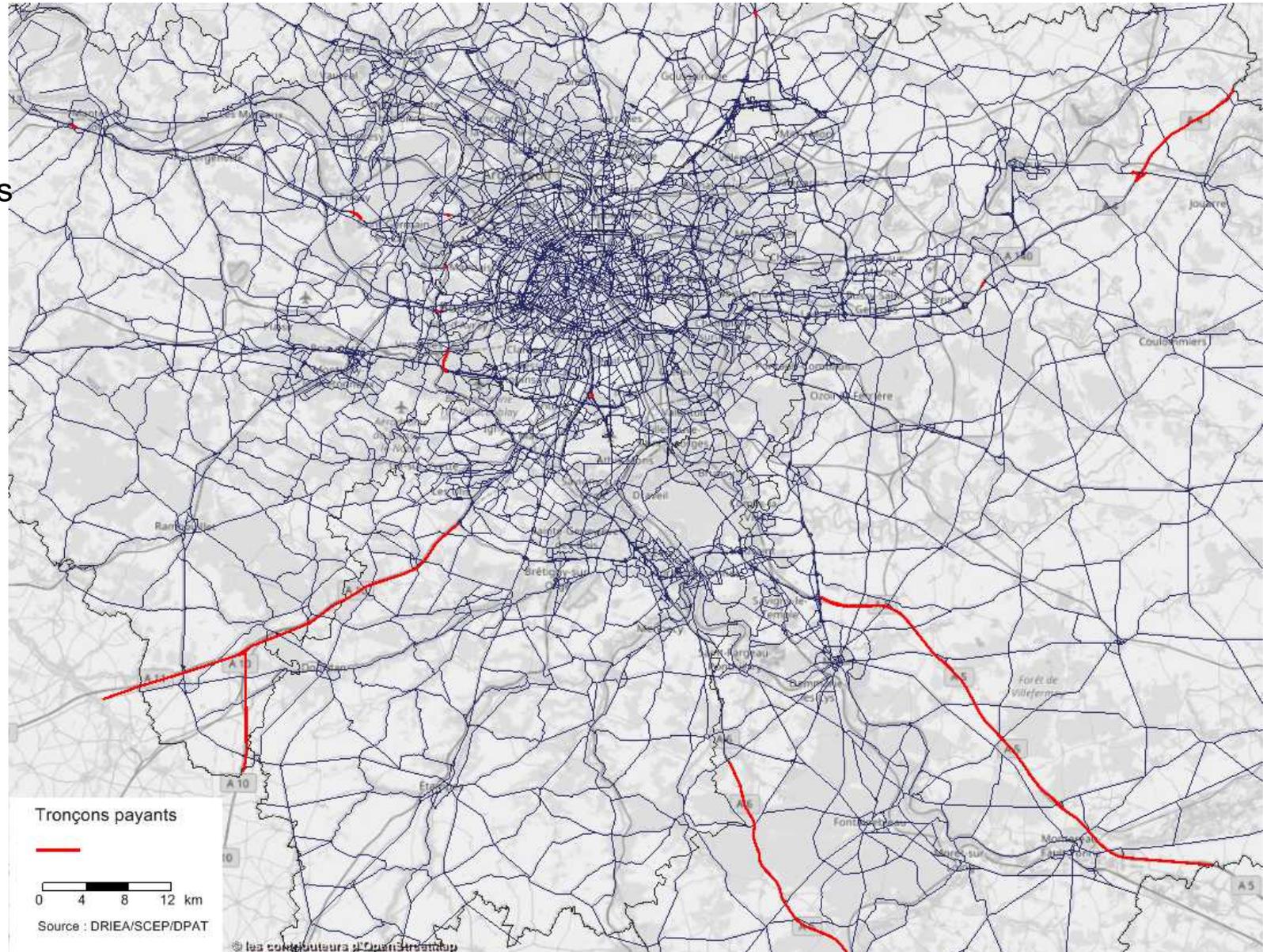
Péages

€ moyen par km
(A10-A11, A4,
A5, A6, A16)

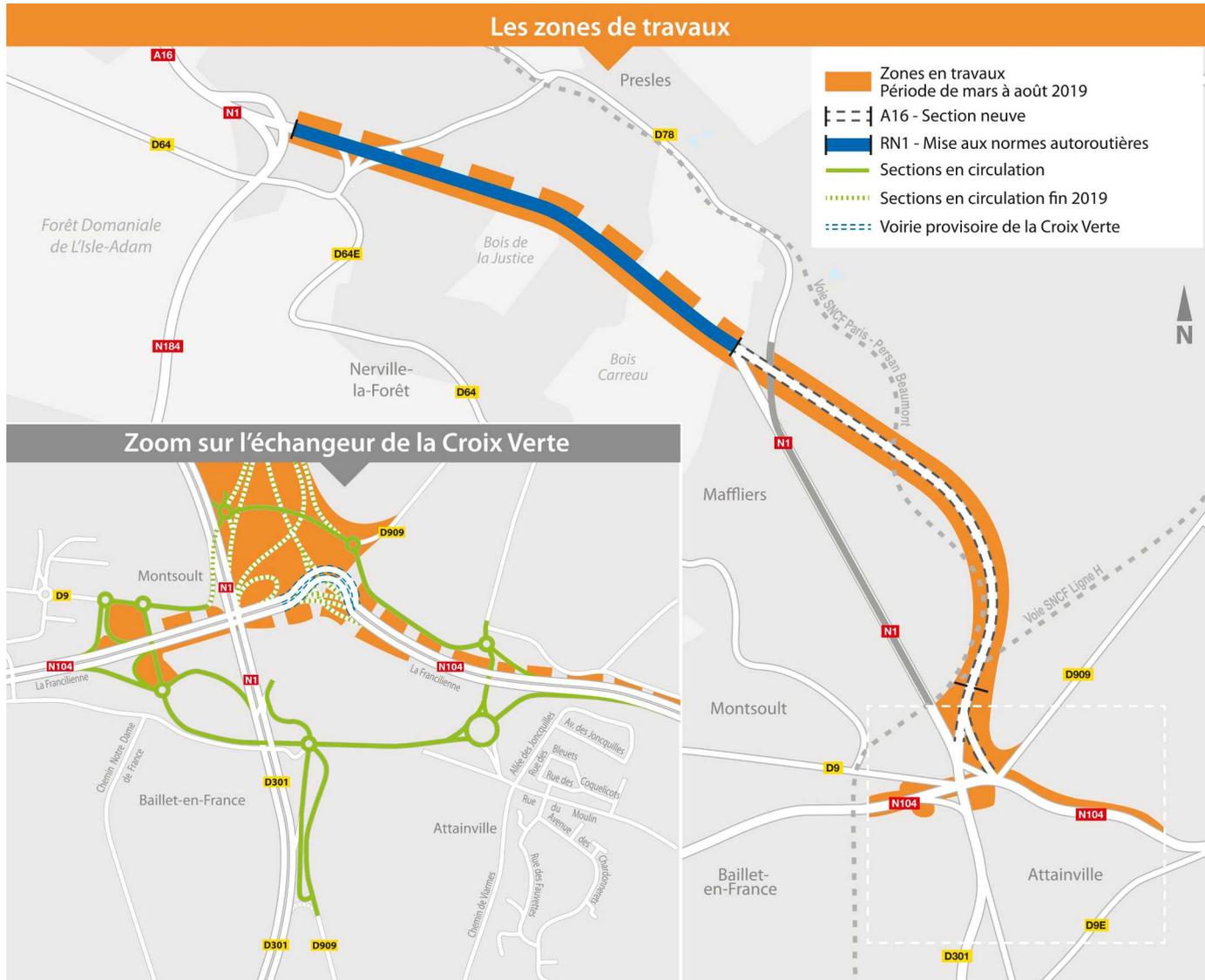
€ forfait : sur tous
les tronçons
d'accès à la
section payante
(A14, duplex
A86, accès à
Rungis)

VL : € 2012 TTC

PL : € 2012 HT
classe 2 ou 3



Codage de projets routiers



Codage Modus



Codage des projets selon les horizons

- Numtype2010 = Horizon de calage (≤ 2015)
- Numtype2020 = Projets mis en service à ce jour (≤ 2020)
- Numtype2030 = Projets programmés à moyen terme (> 2020)
- Numtype2040 = Projets étudiés pour le long terme (> 2030)

Nombre : 385	Num	NumNoeudO	NumNoeudD	NumType	NumType2010	NumType2020	NumType2030
1	169	2510	2512	73	73	73	99
2	172	2513	2510	73	73	73	99
3	173	2509	2513	98	99	99	63
4	173	2513	2509	98	99	99	63
5	175	2513	2516	99	99	99	63
6	194	2525	2516	83	83	83	99
7	195	2527	2528	73	73	73	99
8	198	2528	2526	83	83	83	99
9	200	2531	2683	8	44	44	37
10	223	2543	2570	98	99	99	16
11	224	2543	2867	98	99	99	16
12	224	2867	2543	98	99	99	16

Nombre : 287	Num	NumType	NumType2010	NumType2020	NumType2030
49	2828	83	83	73	64
50	2830	0	0	0	12
51	2836	83	83	83	64
52	2837	63	63	63	23
53	2861	0	0	0	1
54	2866	0	0	0	2
55	2867	0	0	0	2
56	2879	82	82	72	72
57	2882	62	62	62	23
58	2888	82	82	72	72

Un modèle offre-demande

- Affectation = confrontation de l'offre à la demande de transport
- La demande de transport correspond aux nombres de véhicules qui souhaitent se déplacer entre chaque origine et chaque destination = Matrice OD
 - La demande de transport de voyageurs



- La demande de transport de marchandises

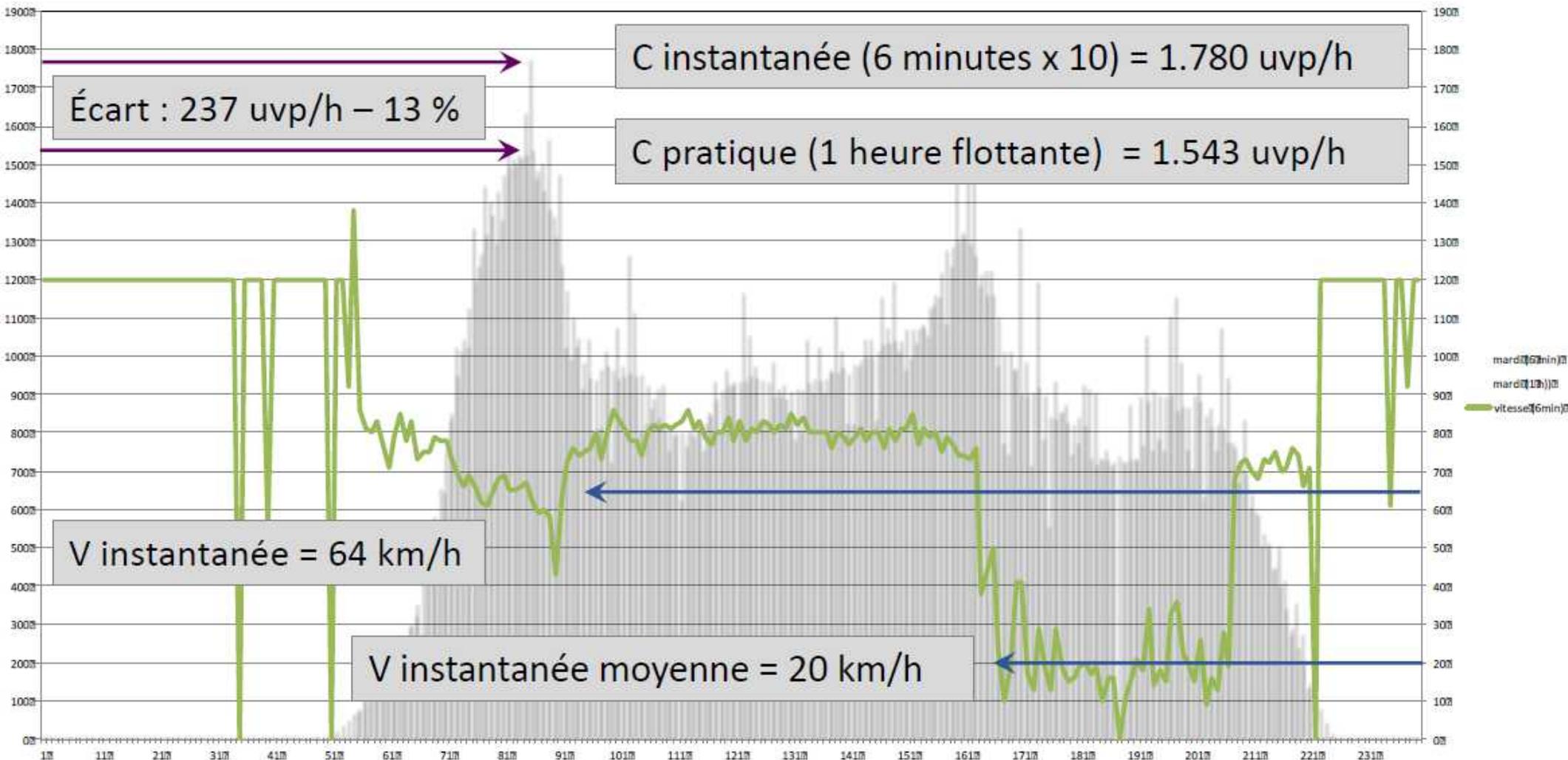


- L'offre de transport correspond aux capacités et aux règles de circulation que le système de transport propose (autorisation de circuler, vitesse limite autorisée, nombre de voies, régime de priorité, etc.)
- La demande de transport peut-être supérieure à l'offre, auquel cas le coût d'accès à l'offre augmente (temps de parcours), et peut entraîner un report vers d'autres offres initialement moins concurrentielles, jusqu'à atteindre un équilibre

Coût généralisé TI de Modus

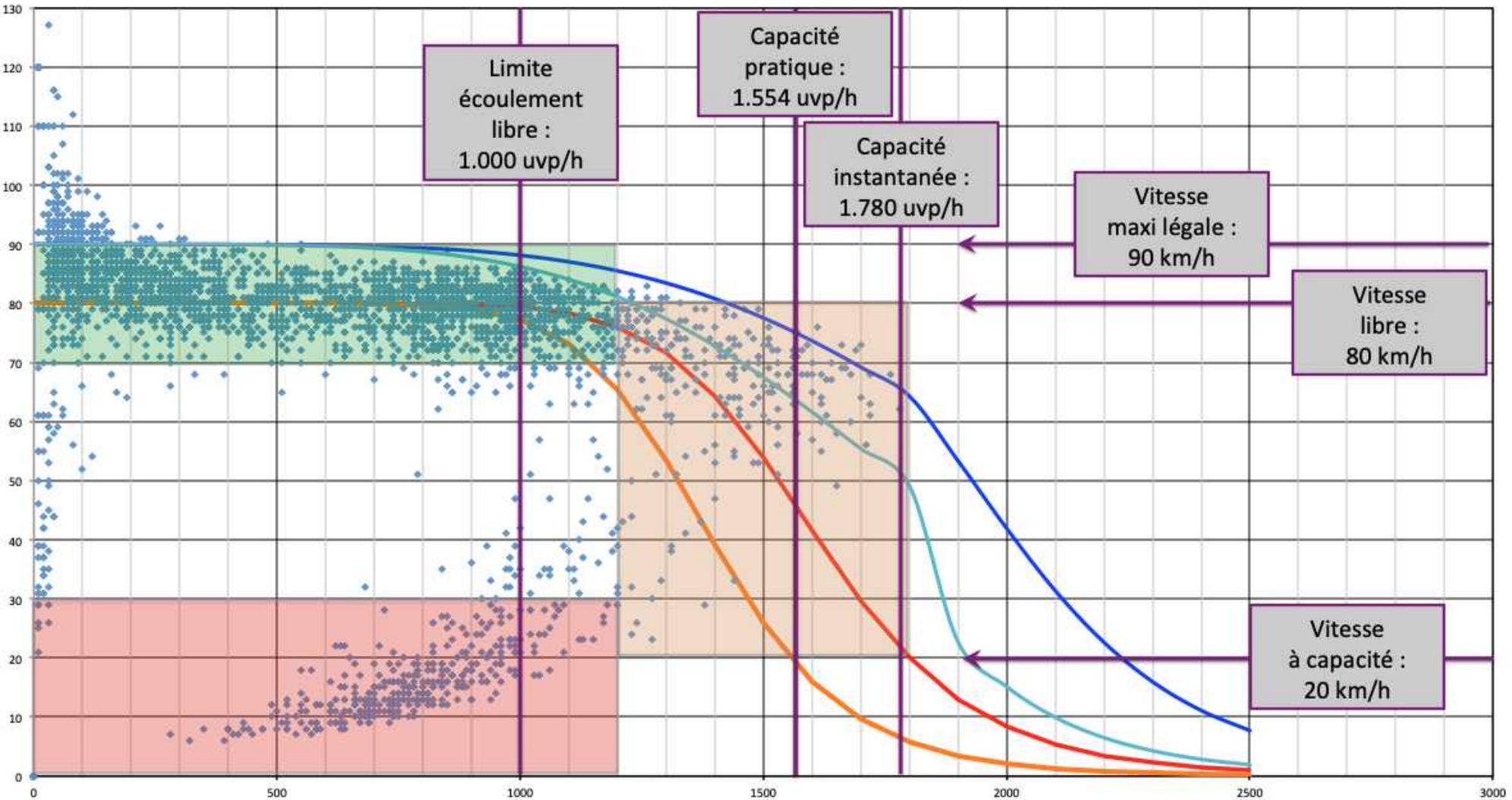
Tribut équilibre	VL	PL
Tronçons	$1,25.tChg - 0,25.t0$ $+ 0,0252.L$ (-0.bonusVR.L) (0,049 BP, 0,016 Autoroutes)	$1,25.tChg - 0,25.t0$ $+ 0,0882.L$ $+ 1.malusPIM.L$ (0,06 PIM, 0,12 ronds-points et zones 30)
Connecteurs	$1.t0=L/v0$ (Paris : 15 km/h, zone dense : 20 km/h, autre : 30 km/h sur 2km, puis 50 km/h sur 3km puis 70 km/h)	
Mouvements aux noeuds	$1.t0$ (pénalité aux noeuds)	$1,5.t0$ (pénalité aux noeuds)
Péage	Valeur VP 2012 TTC VdT 12,44 €/h (disp 0,60)	Valeur PL 2012 HT VdT 33,41 €/h (disp 0,60)

Débit – vitesse – capacité

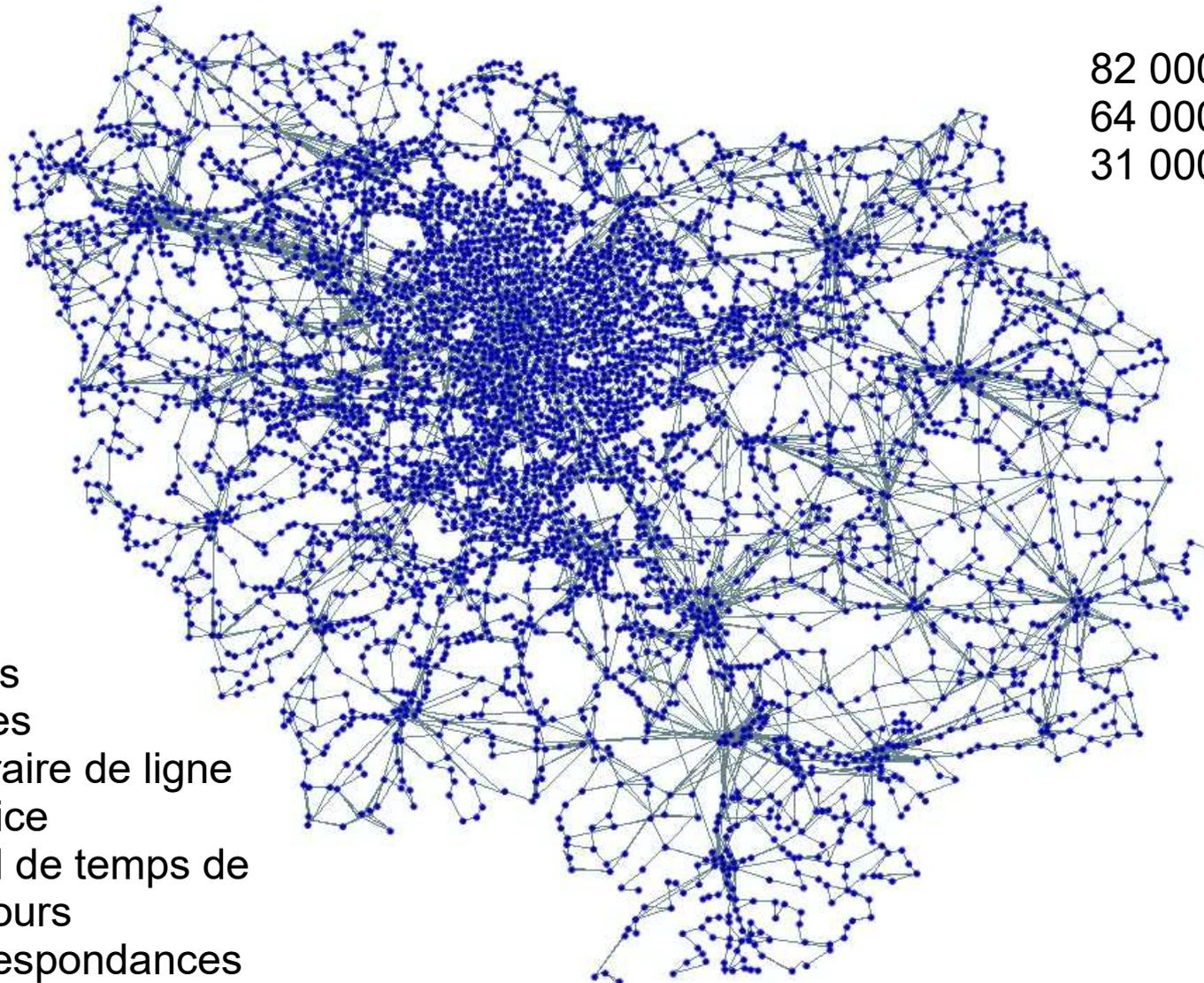


Courbe DV BPR

Courbe vitesse-débit sur autoroute à 1 bande de circulation



Le réseau TC



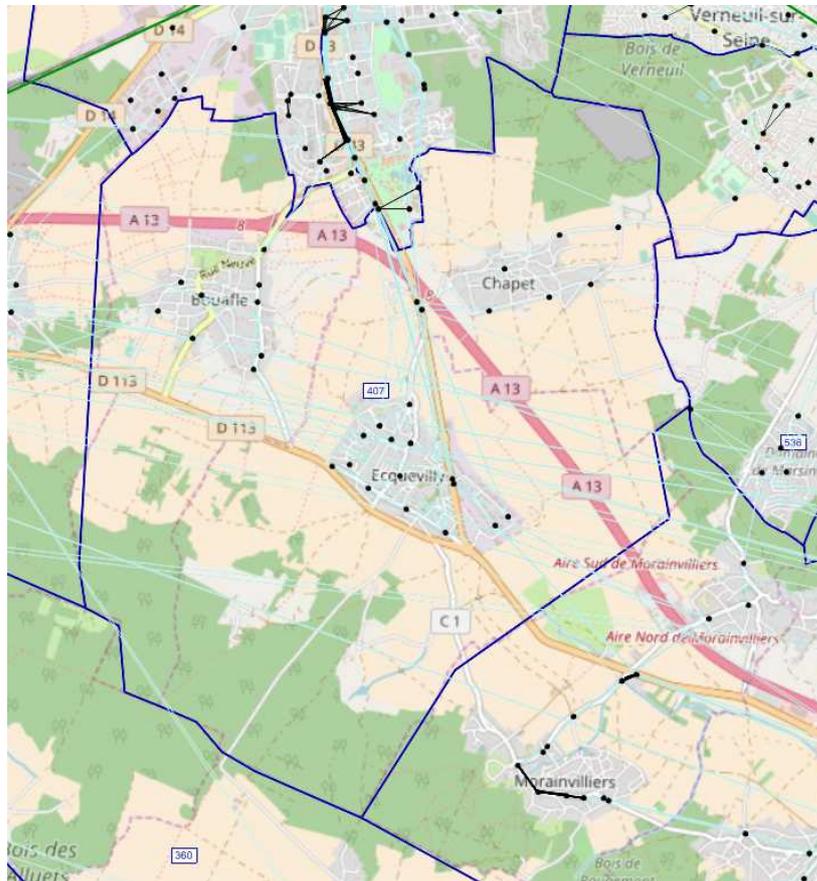
82 000 arcs TC
64 000 arcs MaP
31 000 nœuds

Arrêts
Lignes
Itinéraire de ligne
Service
Profil de temps de
parcours
Correspondances

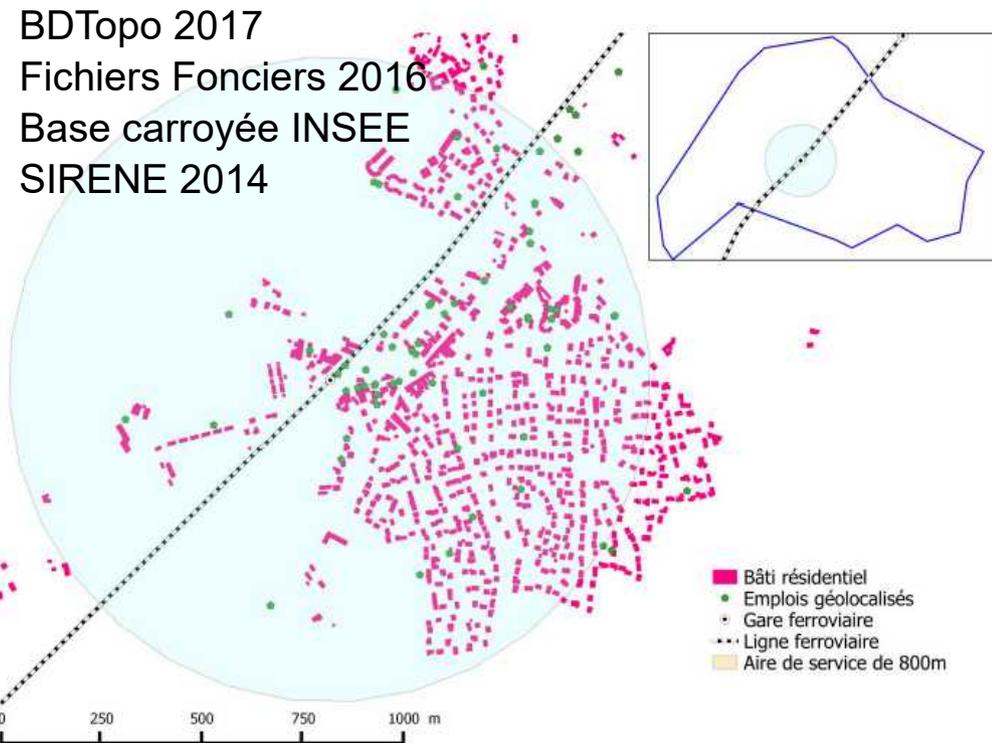
Lien entre réseau TC et zonage

- Relier le territoire (zones) au réseau (nœud) via les connecteurs

MODUS 2.2 Distance

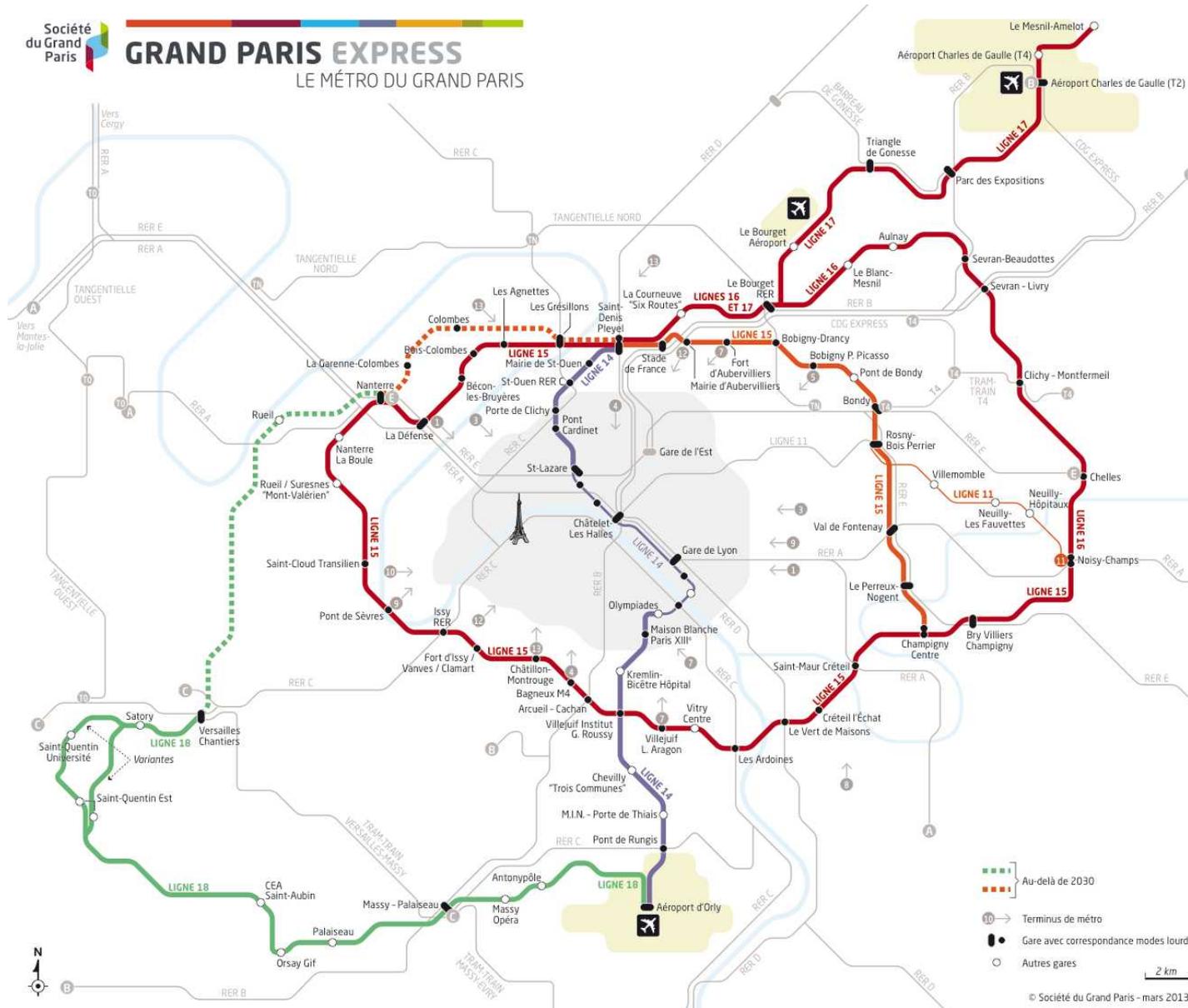


MODUS 3.1 Distance MaP



Source : Codification des connecteurs de zones pour les transports en commun_Ouassim MANOUT (LAET)

Les projets de TC



Objectifs de mises en service



Affectation TC

- Sélection des itinéraires pertinents

- Temps total de déplacement $T_{depl} = T_{rab} + T_{att} + T_{veh} + T_{mar} + T_{cor} + T_{acc}$
- Coût généralisé de recherche $C_{rch} = T_{depl} + 5 \cdot N_r$ (Nr=Nb ruptures)
- Sélection des itinéraires proches du plus performant : $N_r \leq N_r^{min} + 2$ et $N_r \leq 3$

$$T_{depl} \leq 1,50 * T_{depl}^{min} + 10$$

$$C_{rech} \leq 1,50 * C_{rech}^{min} + 10$$

- Calcul de l'utilité de chaque itinéraire sélectionné

$$\begin{aligned}
 V_i := & \beta_{T_{veh}} * T_{veh_i} + \beta_{T_{rabacc}} * \frac{T_{rab}^{\lambda_{trab}-1}}{\lambda_{trab}} + \beta_{T_{rabacc}} * \frac{T_{acc}^{\lambda_{trab}-1}}{\lambda_{trab}} + \beta_{T_{mar}} * \frac{T_{mar}^{\lambda_{mar}-1}}{\lambda_{mar}} + \beta_{T_{Tcor}} * \frac{T_{cor}^{\lambda_{tcor}-1}}{\lambda_{tcor}} + \beta_{N_{cor}} * \\
 & N_{cor} + \beta_{freq} * N_{freq} + \beta_{rer} * N_{rer} + \beta_{metrotram} * N_{metro} + \beta_{metrotram} * N_{tram} + \beta_{train} * N_{train}
 \end{aligned}$$

Temps en véhicule (orange arrow pointing to $\beta_{T_{veh}} * T_{veh_i}$)
 Temps de rabattement (blue arrow pointing to $\beta_{T_{rabacc}} * \frac{T_{rab}^{\lambda_{trab}-1}}{\lambda_{trab}}$)
 Temps d'accès à destination (blue arrow pointing to $\beta_{T_{rabacc}} * \frac{T_{acc}^{\lambda_{trab}-1}}{\lambda_{trab}}$)
 Temps de marche (blue arrow pointing to $\beta_{T_{mar}} * \frac{T_{mar}^{\lambda_{mar}-1}}{\lambda_{mar}}$)
 Temps d'attente en correspondance (orange arrow pointing to $\beta_{T_{Tcor}} * \frac{T_{cor}^{\lambda_{tcor}-1}}{\lambda_{tcor}}$)

Nombre de correspondance (green arrow pointing to $\beta_{N_{cor}} * N_{cor}$)
 Fréquence (green arrow pointing to $\beta_{freq} * N_{freq}$)
 Nombre de montée en RER (green arrow pointing to $\beta_{rer} * N_{rer}$)
 Nombre de montée en métro (green arrow pointing to $\beta_{metrotram} * N_{metro}$)
 Nombre de montée en tram (green arrow pointing to $\beta_{metrotram} * N_{tram}$)
 Nombre de montée en train (green arrow pointing to $\beta_{train} * N_{train}$)

- Répartition des charges selon un logit

$$P(i) = \frac{e^{\mu V_i}}{\sum_j e^{\mu V_j}}$$

Caler et valider le modèle

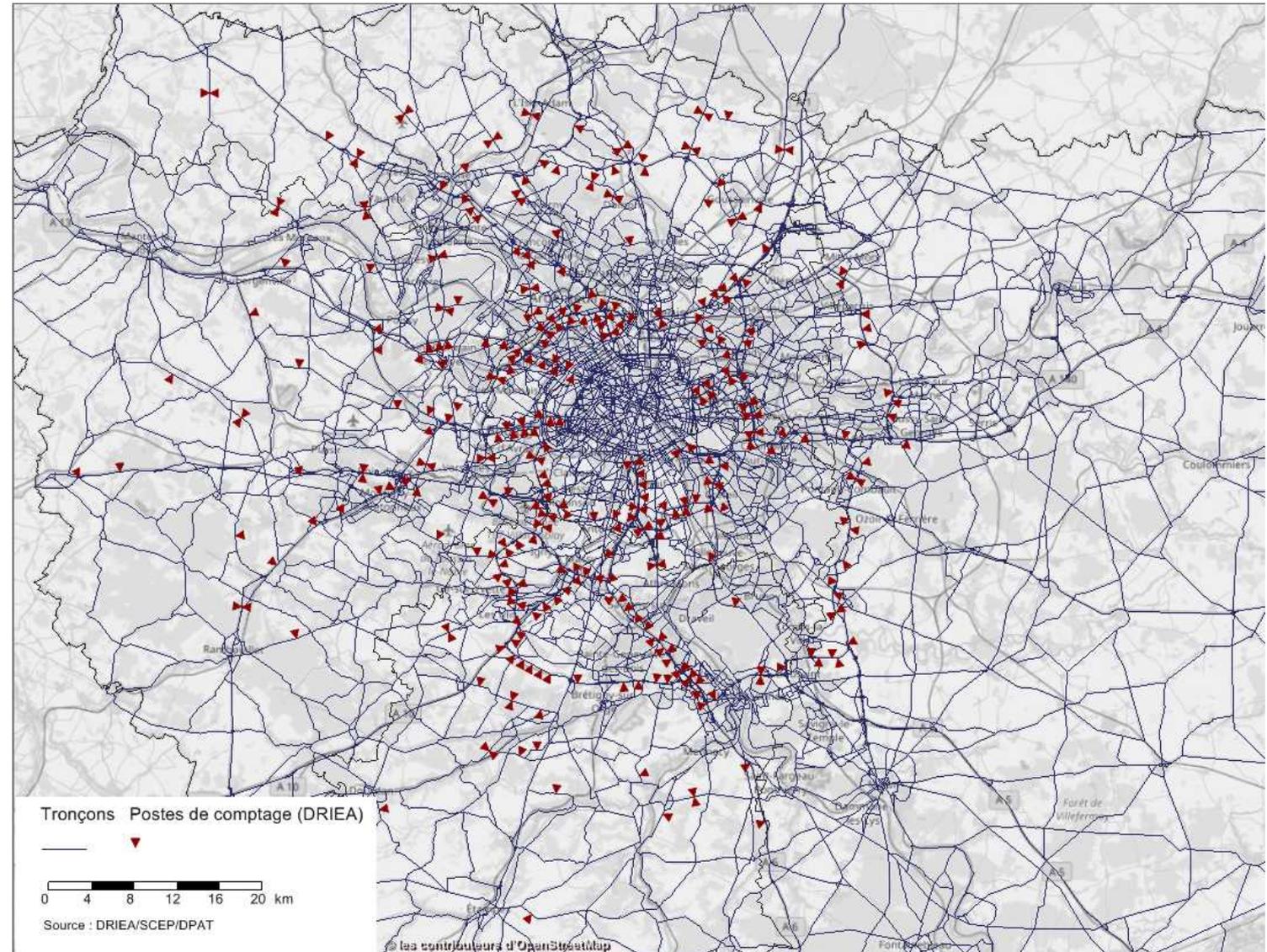
- Intégration des mesures de comptages (routiers et TC)
- Comparer les écarts :
 - à partir de lignes-écrans (découpant le territoire)
 - entre charges et débits
 - montées-descentes TC
 - taux de correspondances
- Ajuster les paramètres des modèles
 - sur le coût généralisé
 - sur les critères de sélection d'itinéraires
 - sur la fonction de répartition
- Modifier la demande là où les écarts subsistent
- Tester la sensibilité du modèle (variation des données d'entrées)

Comptages

563 sur RN ou
autoroute
(Sirius/Siredo)

→ 2010/2011

112 postes
enquêtés sur
5 jours en 2016
(RD dans le 78,
91 et 95)
débit, vitesse,
distinction
VL/PL.

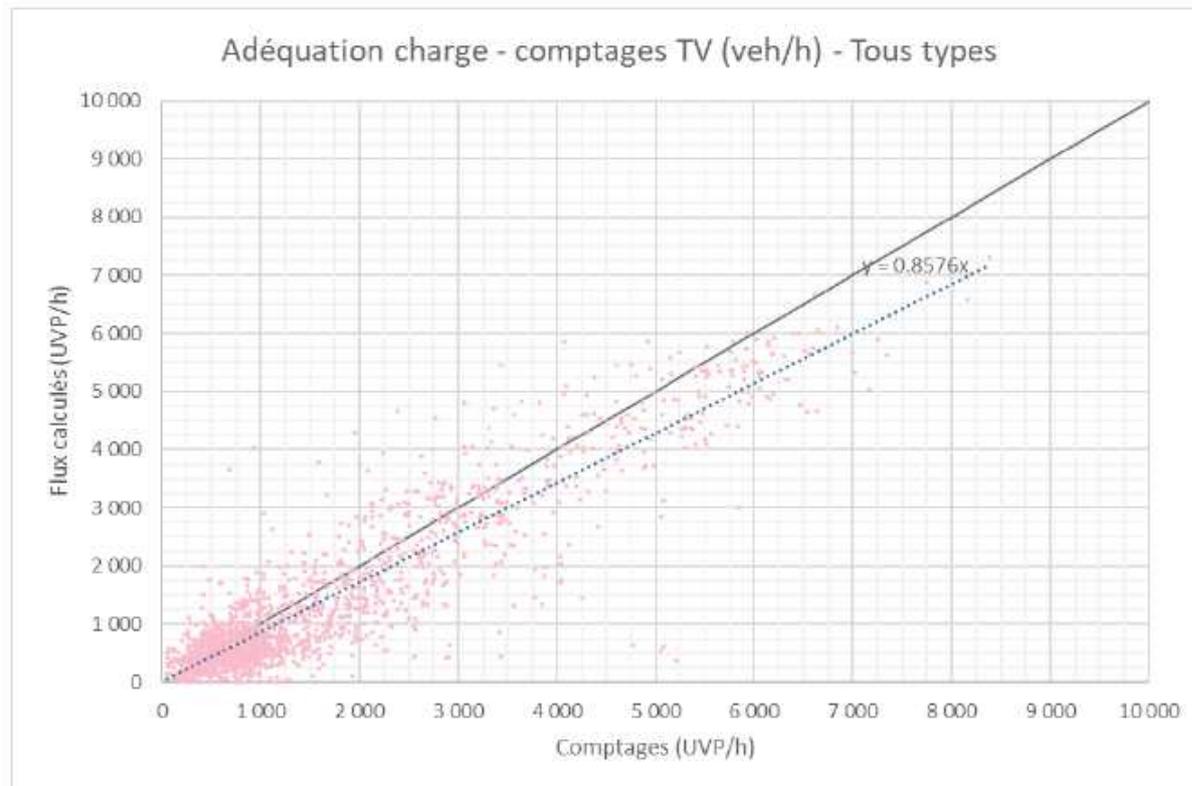


Reproduction des comptages

Indicateurs de calage

Scénario 2

Indicateurs de calage HPS

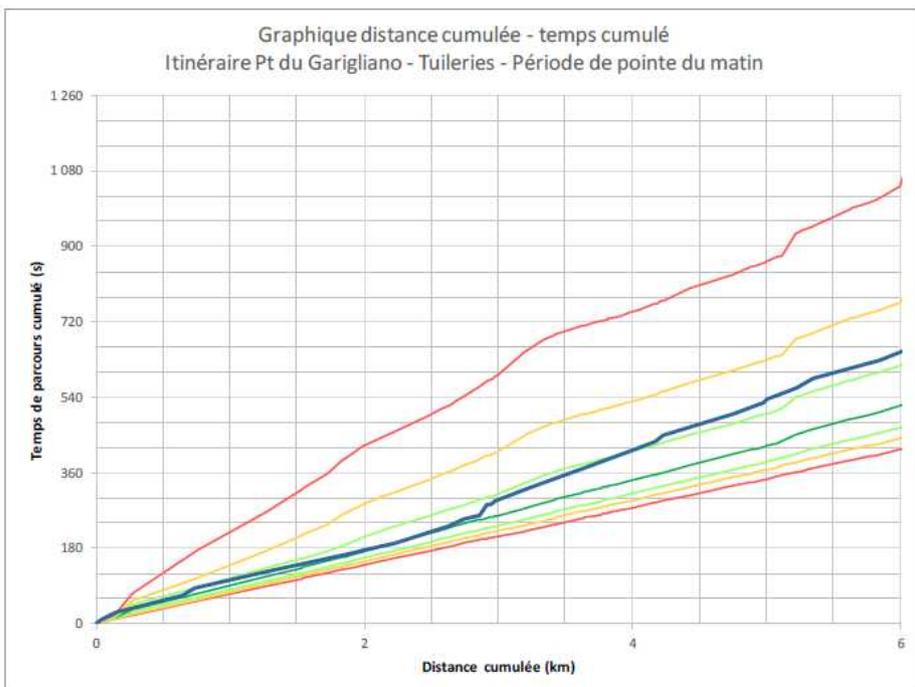
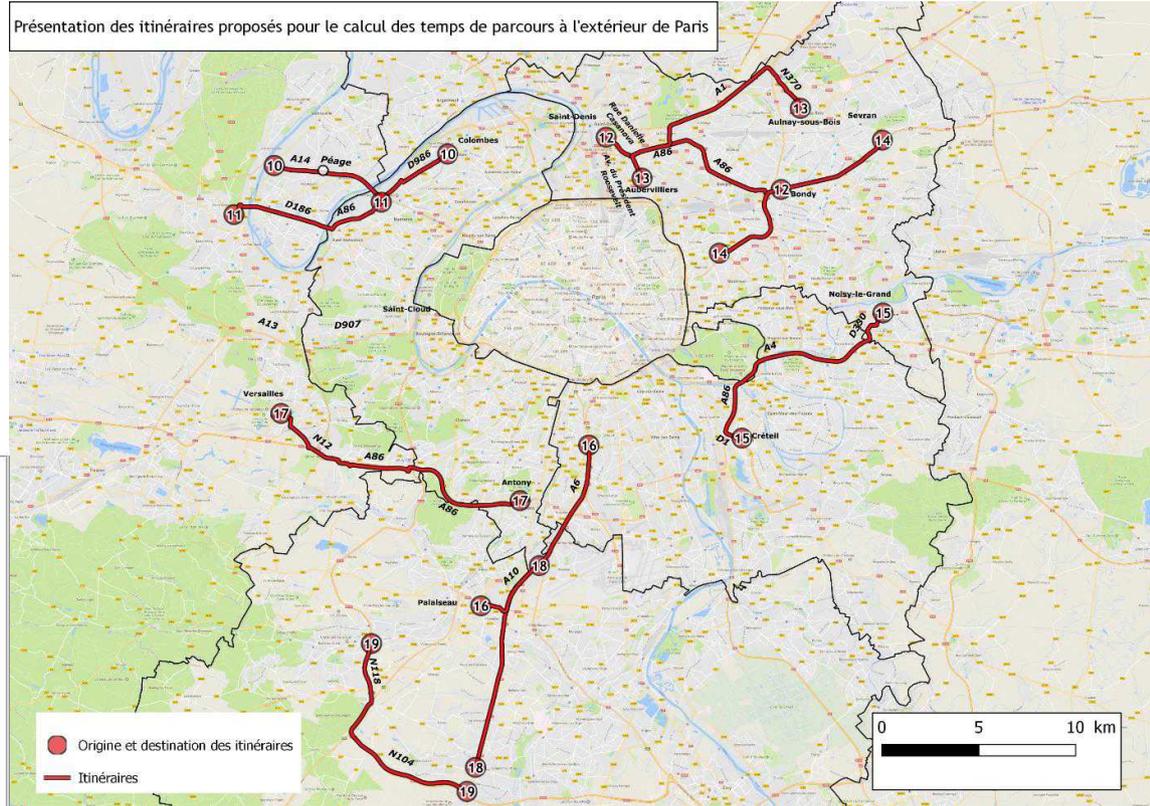


$R^2 (y = x)$	0,84
a	0,8576
$R^2 (y = a.x)$	0,84

Indicateurs : temps de parcours



- données FCD sur 38 itinéraires aller-retour
- HPM / HC / HPS



Utiliser un modèle à 4 étapes

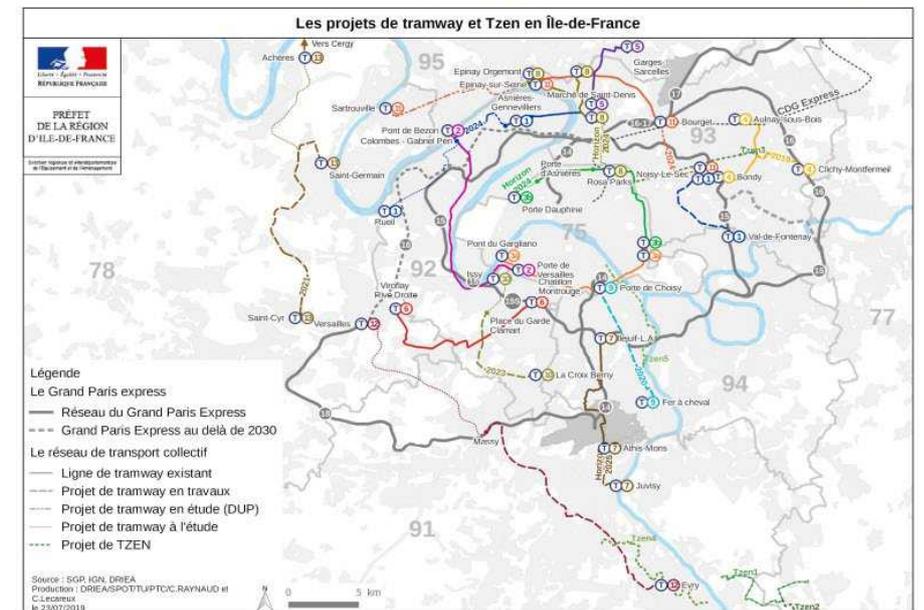
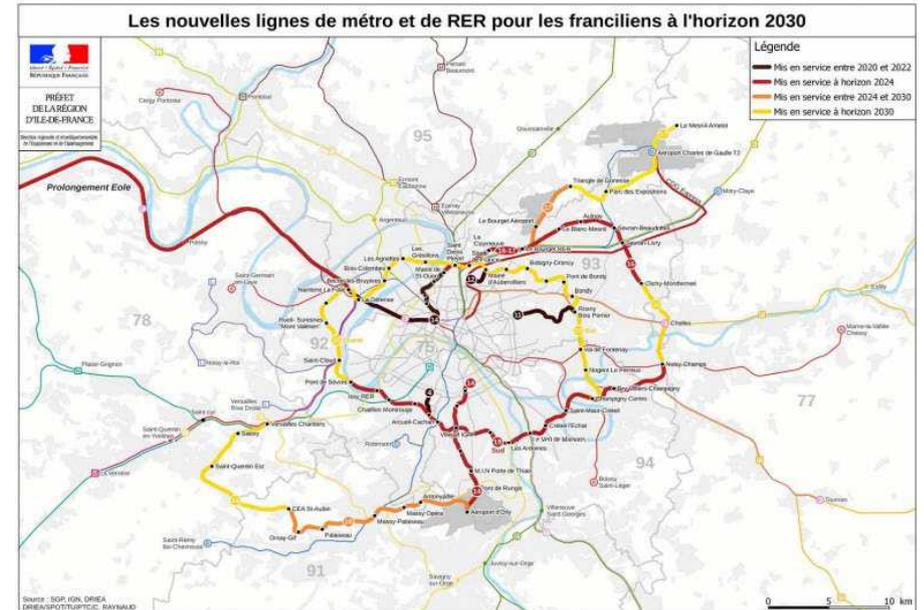
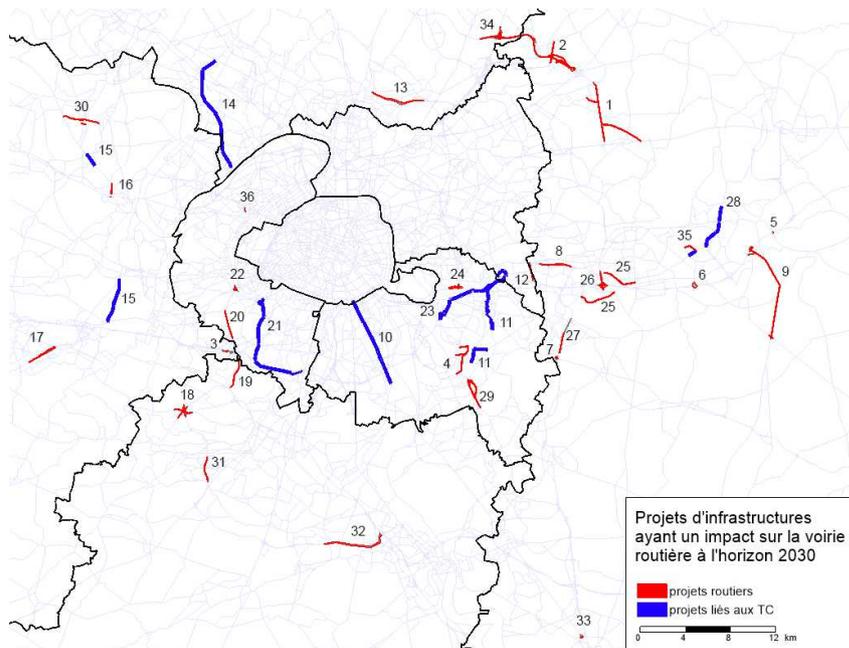
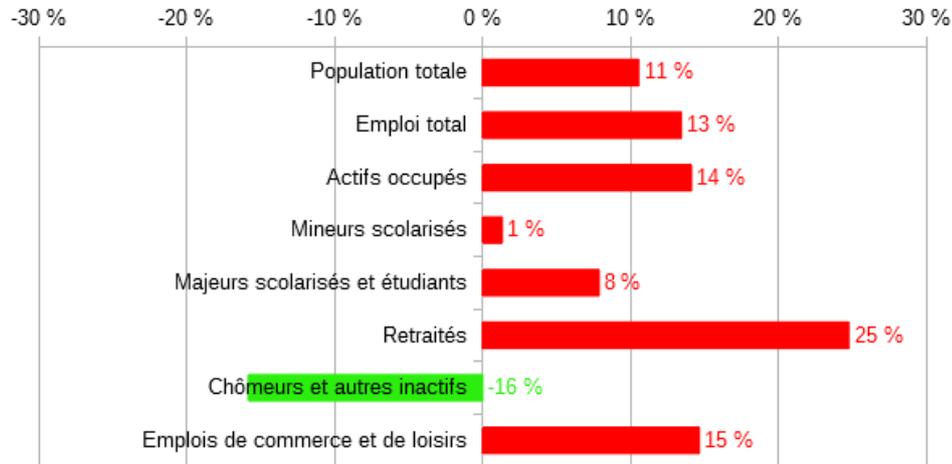
- **Définir le scénario futur** (données socio-démographiques « P+E »; situation future optimisée la plus probable *Référence* en l'absence du projet; le projet)

- **3 situations à étudier**
 - Situation actuelle connue (P+E actuels, offre de transport actuelle)
 - Situation de *référence* à l'horizon considéré (P+E futurs, offre de transport future, sans le projet)
 - Situation de *projet* à l'horizon considéré (P+E futurs, offre de transport future avec le projet)

- **2 comparaisons**
 - Situation de référence vs Situation actuelle
 - mesure les évolutions dues aux P+E et à l'offre de transport (sans projet)
 - Situation de projet vs Situation de référence
 - mesure l'impact du projet toutes choses égales par ailleurs alimente le bilan socio-économique du projet étudié

Définir le scénario futur

Hypothèses d'évolution entre 2012 et 2030 (scénario haut du modèle P+E)



Comparer les résultats

On évalue bien l'impact :

- d'offres futures possibles
- d'évolutions possibles du territoire

Sur une situation, des comportements, une photo d'aujourd'hui

On compare les situations entre elles 2 à 2 (« l'impact »)

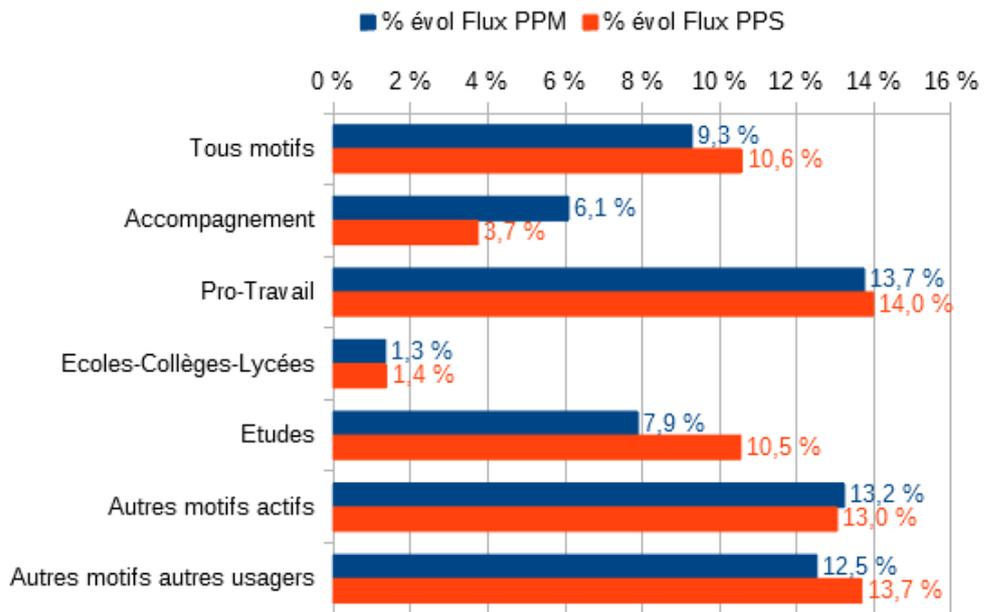
- La prospective d'aménagement du territoire se fait hors champ de la modélisation (4 étapes) des transports
- Les données d'entrée sont très dimensionnantes

Représenter la mobilité

- Indicateurs statistiques globaux (flux par motifs, parts modales)
- Indicateurs zonaux (parts modales avec et sans projet)
- Cartes de charges et de saturation en période de pointe
- Cartes de charges à la journée
- Cartes différences de charges en période de pointe
- Cartes d'évolution des charges en période de pointe
- Carte des vitesses en charge en période de pointe
- Cartes de comparaison des flux émis et attirés par zone
- Isochrones comparées à temps fixe depuis un point donné
- Isochrones par pas de temps fixe depuis un point donné
- Indicateurs quantitatifs d'accessibilité

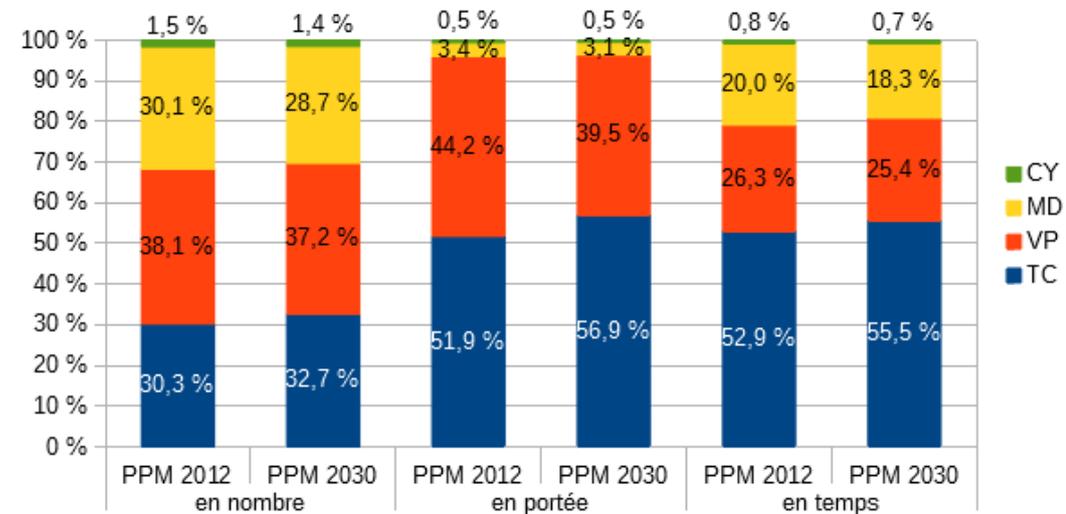
Flux totaux par motifs

Evolution des flux de déplacements en Île-de-France entre 2012 et 2030 en période de pointe du matin et du soir avec Modus 3.1



Parts modales régionales

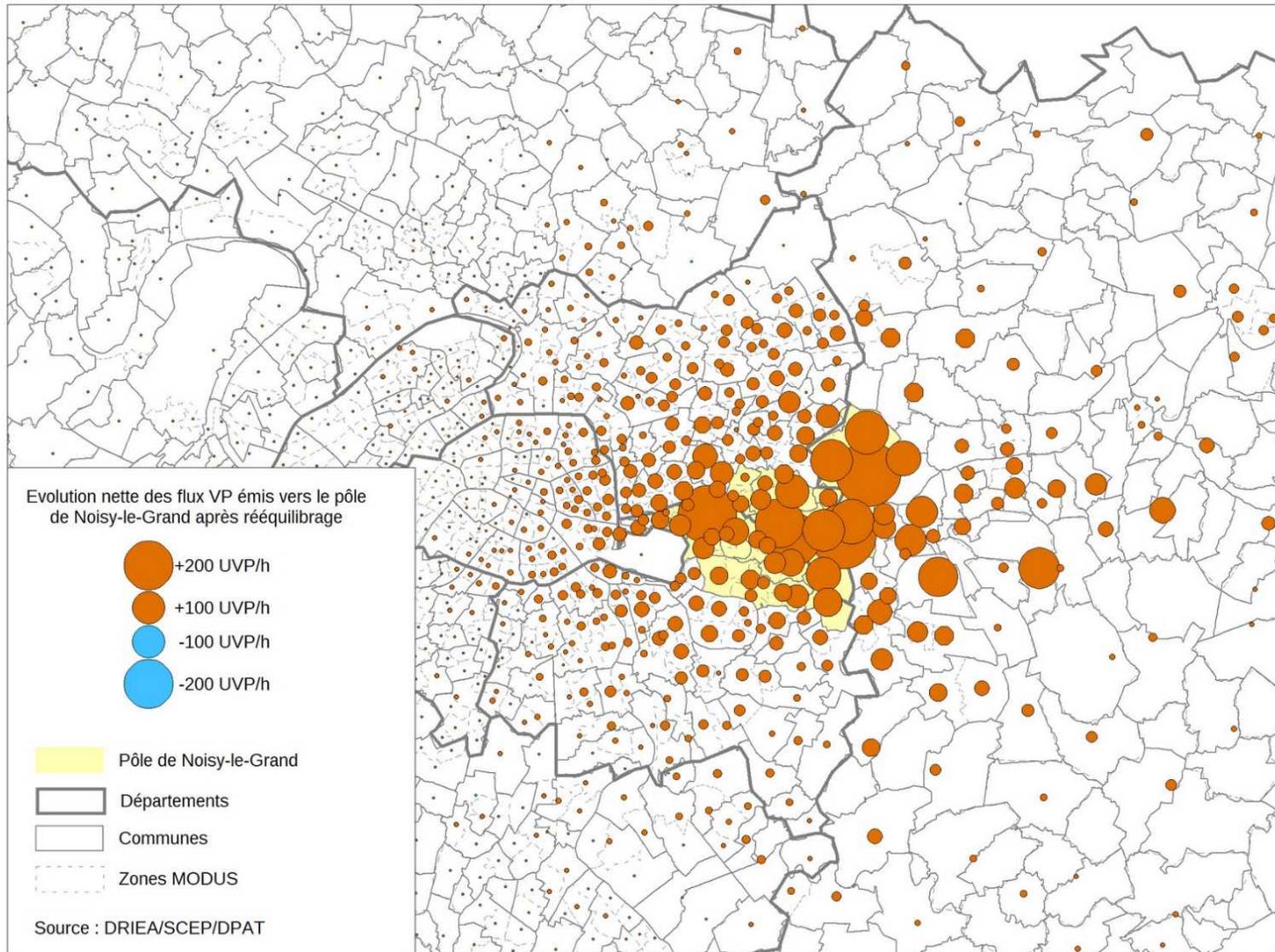
Parts modales en PPM modélisées par Modus 3.1



Indicateurs statistiques zonaux

Evolution de la demande émise entre référence et scénario projet

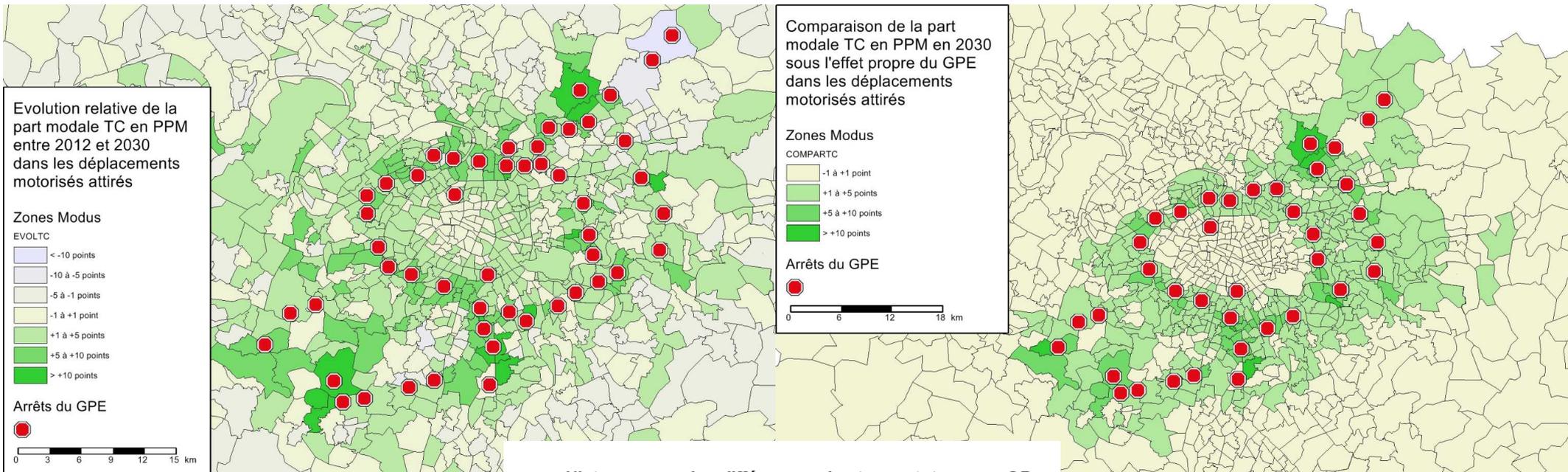
Évolution nette des flux VP émis vers le pôle Noisy-le-Grand



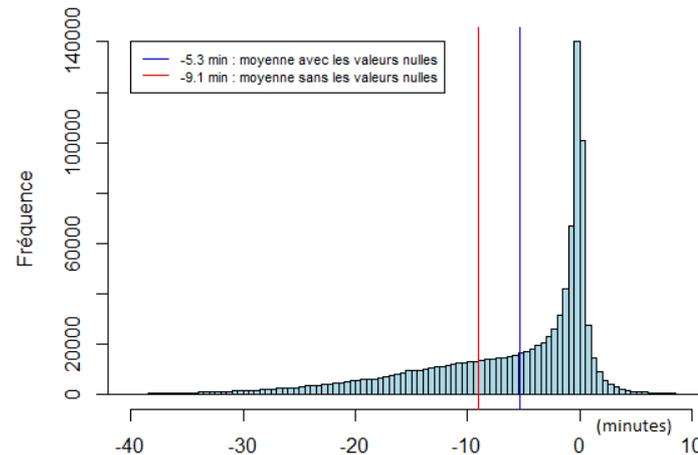
Evolution de la part modale des TC

2012 à 2030 avec GPE

2030 sans et avec GPE

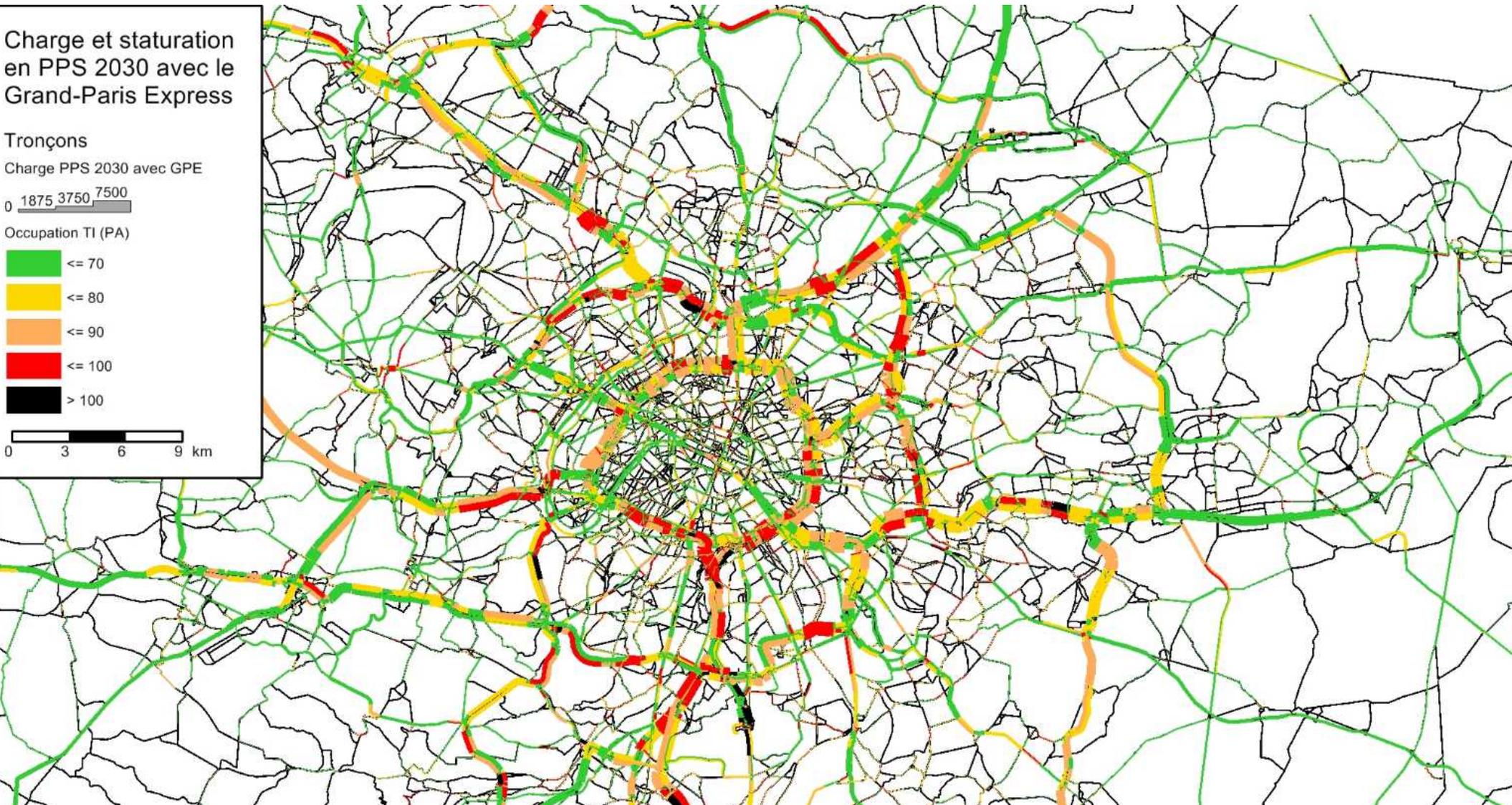


Histogramme des différences des temps totaux par OD



999590 valeurs nulles non prises en comptes pour 1,7 millions d'observations

Projet du Grand Paris Express – un réseau routier qui reste saturé

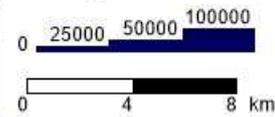


Carte de charges routières à la journée

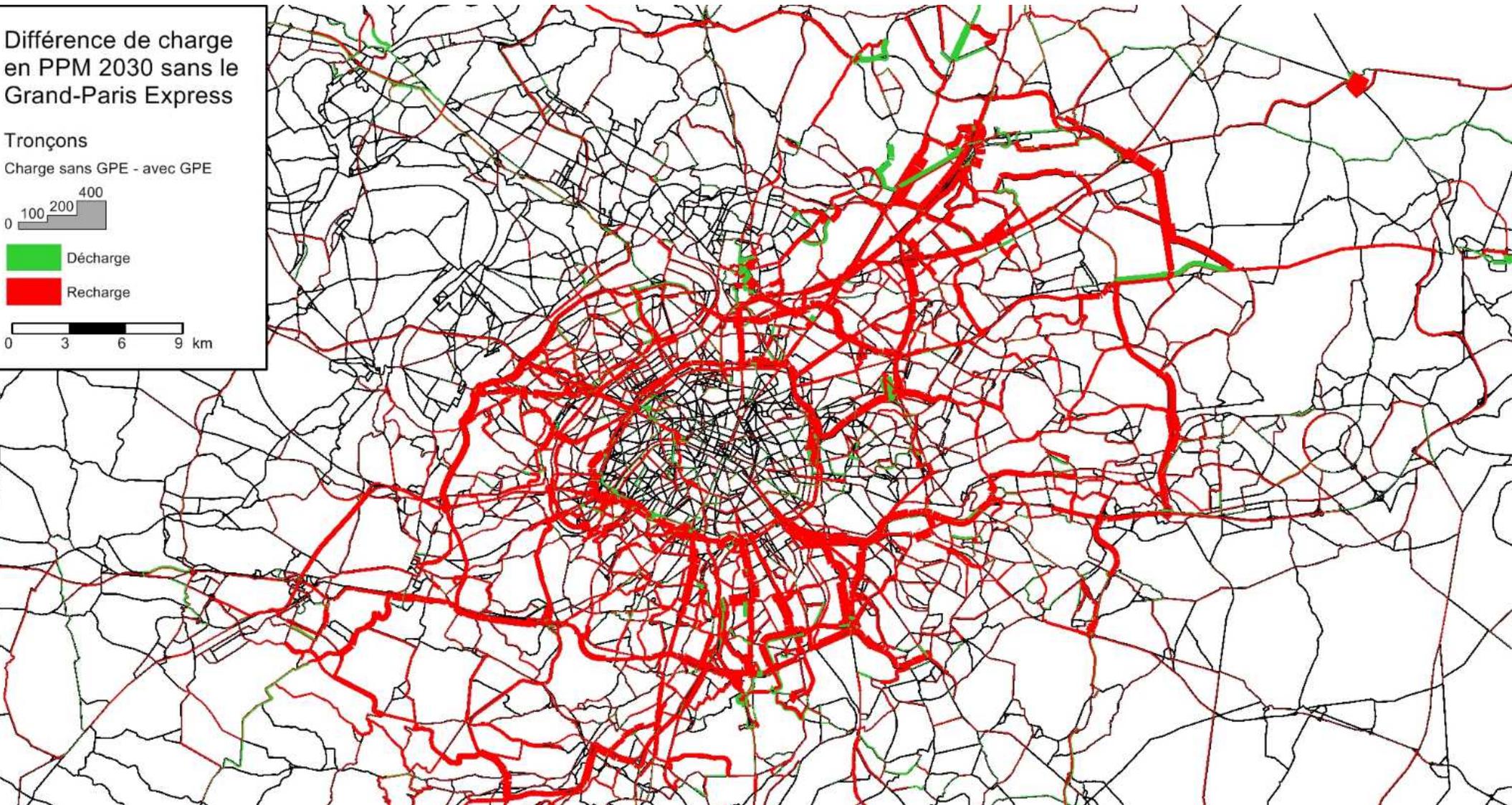
TMJA 2012

Attribut représenté

TMJA_TV

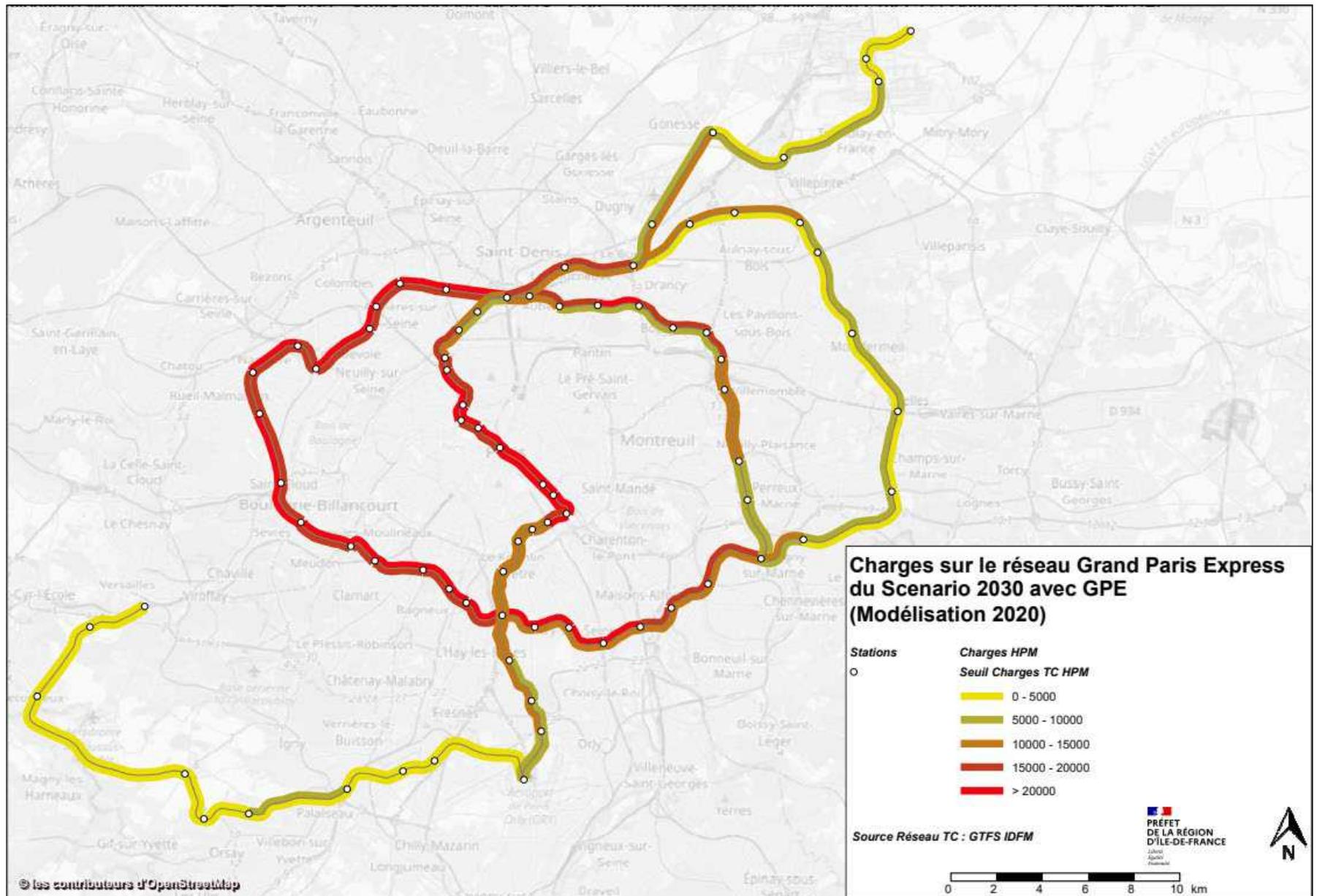


•Projet du Grand Paris Express – un report de trafic routier notable



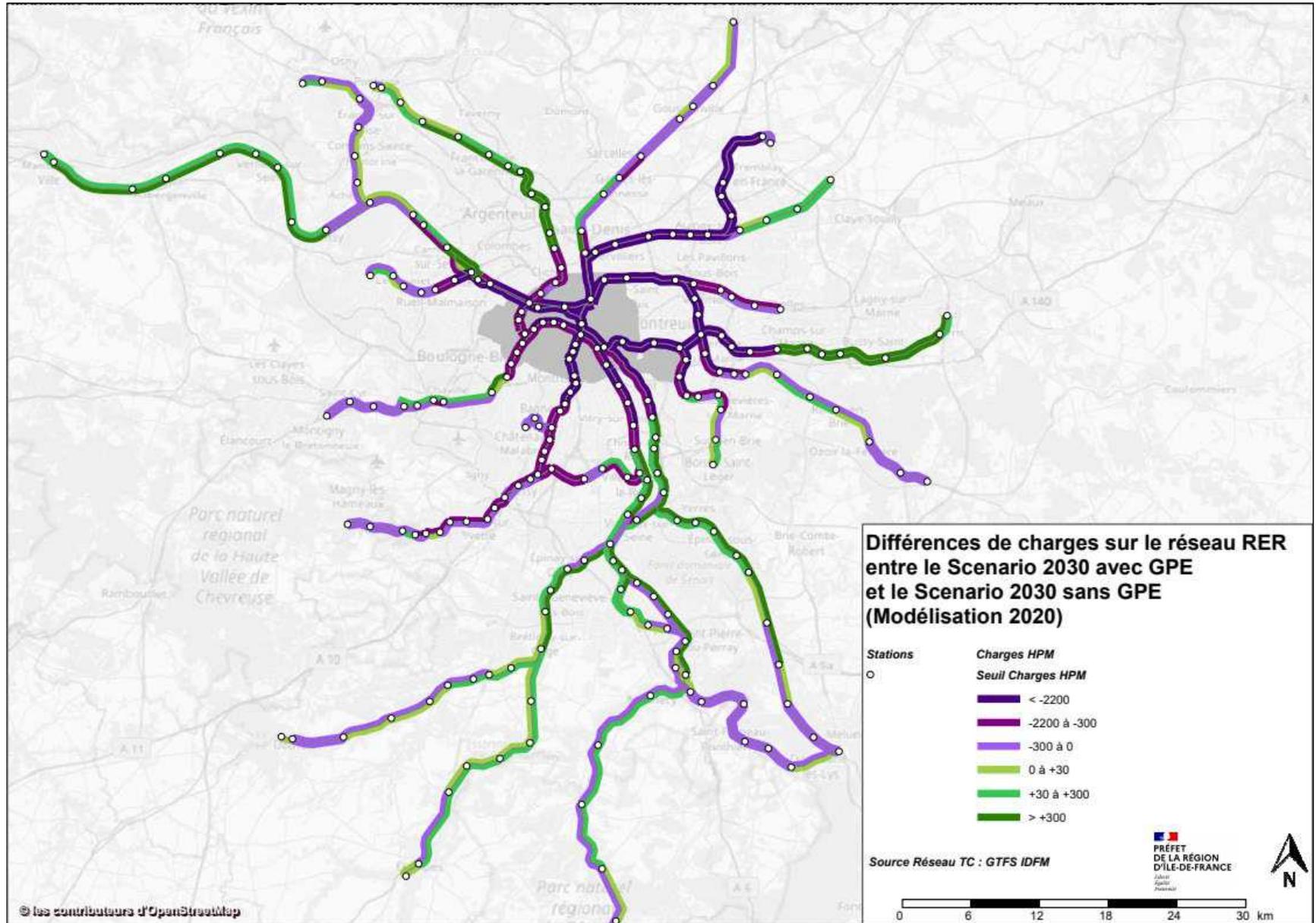
Carte de charge du projet

Grand Paris Express – Fréquentation en heure de pointe du matin

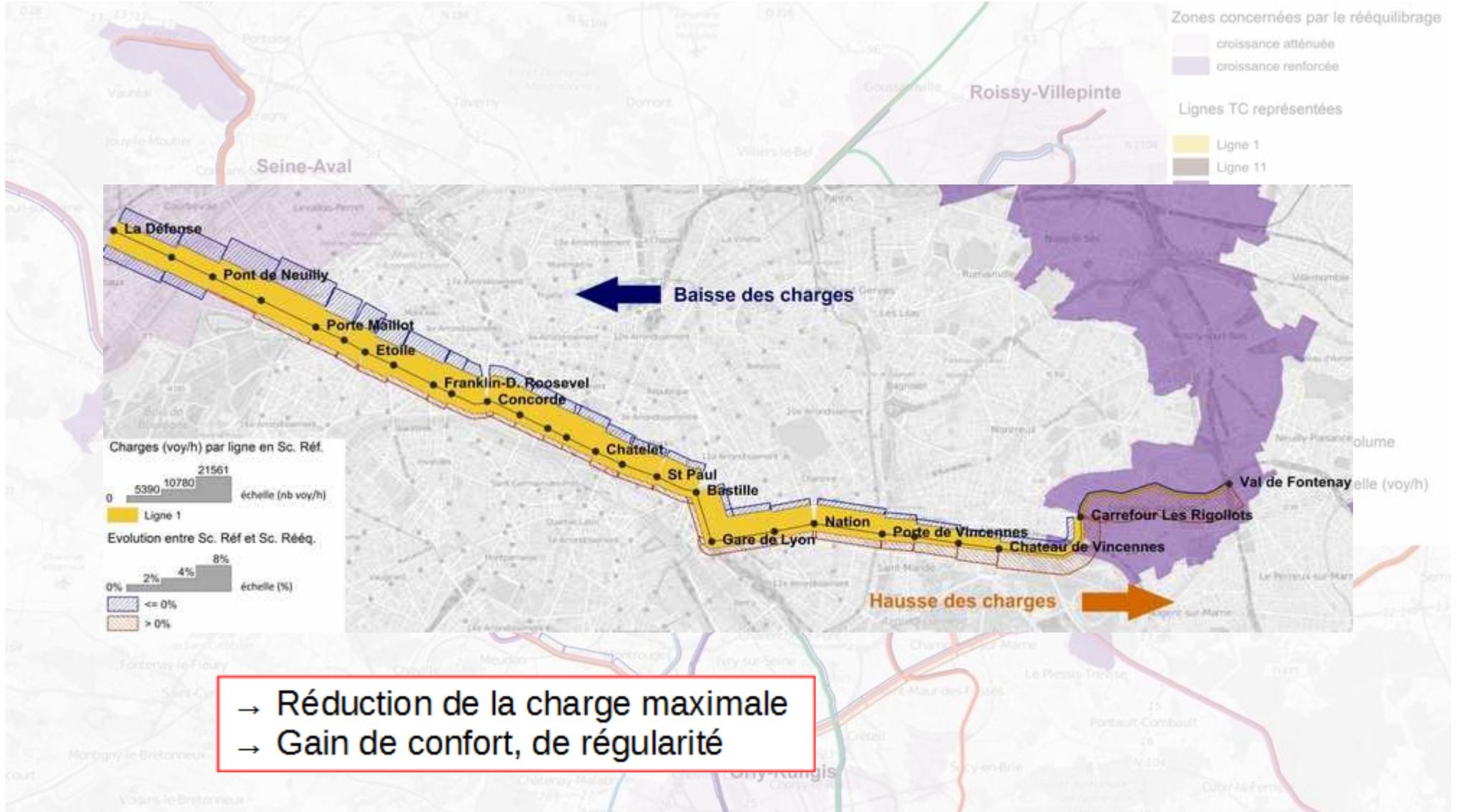


Carte de différence de charge avec/sans projet

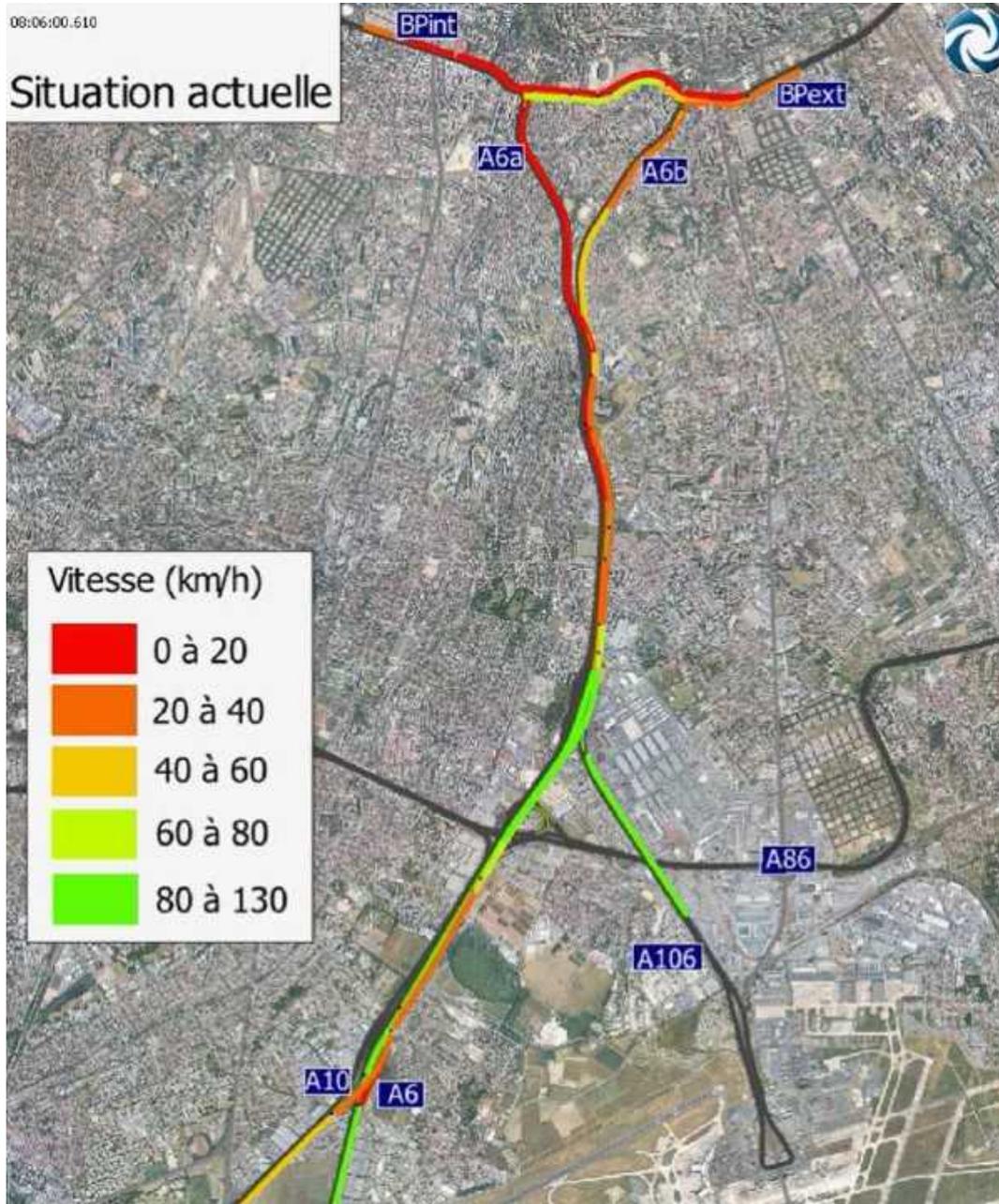
Grand Paris Express – Désaturation des réseaux RER existants



Carte de charge TC en heure de pointe du matin

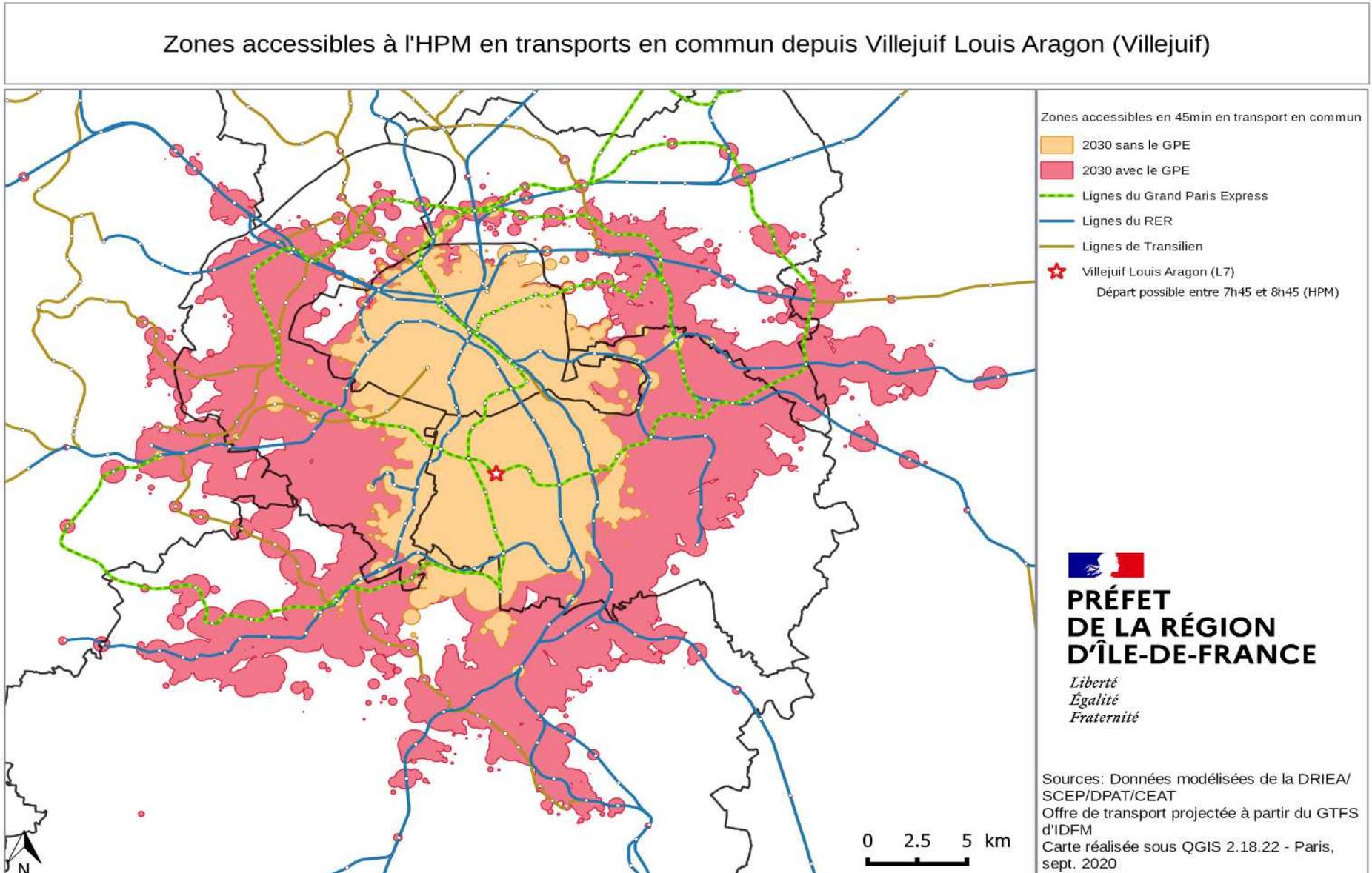


Carte de vitesse en charge en période de pointe du matin



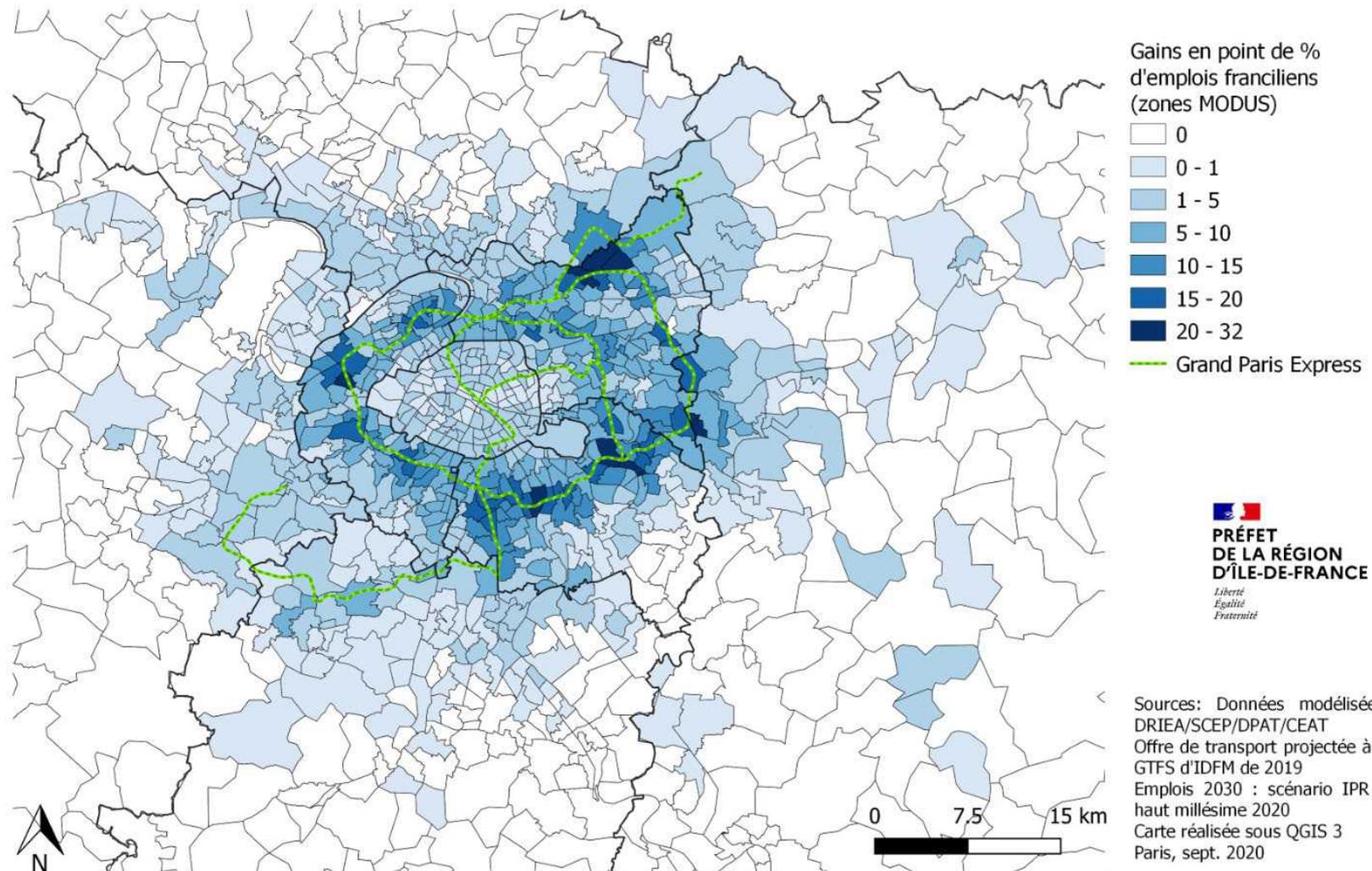
- Depuis : centroïde de zone de Modus, gare, point du réseau routier,...

Exemple : isochrones TC réalisées pour comparer l'impact des futures gares du GPE



Exemple : évolution de l'indicateur d'accessibilité à l'emploi à la mise en service du GPE

Gains d'accessibilité d'emplois franciliens à la mise en service du GPE (2030)





PRÉFET DE LA RÉGION D'ÎLE-DE-FRANCE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Pour en savoir plus, consultez le rapport de valorisation de Modus sur le site de la DRIEAT



Février 2021

<http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/modelisation-des-deplacements-en-ile-de-france-a5918.html>