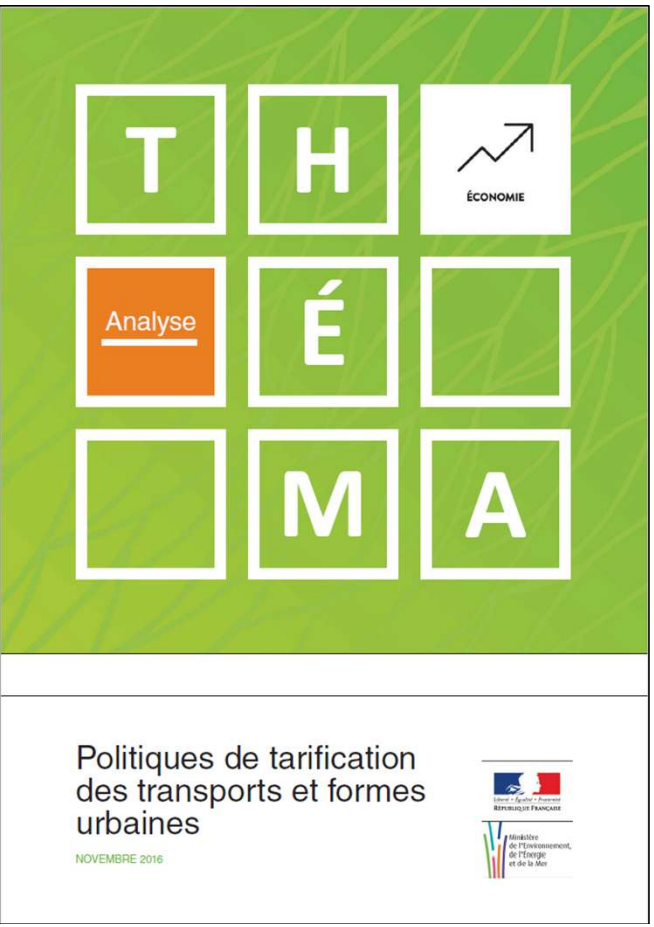
TAMUR
Modèles LUTI
(transports-urbanisme)



ParisTech

VINCI

MASTER PARISTECH
TRANSPORT ET DEVELOPPEMENT DURABLE

PROMOTION 2011

MISSION PROFESSIONNELLE DE FIN D'ETUDES

Guillaume CURNIER

Evaluer l'impact d'une nouvelle ligne de transport en commun de grande capacité sur le développement socio-économique d'une mégalopole :

Le cas du calibrage du modèle Pirandello et son application à la ligne A du RER parisien

Nom complet de l'organisme d'accueil : VINCI

Adresse : 5 rue Ferdinand de Lesseps, 92500 Rueil-Malmaison

Composition du jury :

- Président : Emeric Fortin
- Tuteur professionnel : Laurent Chastenet
- Encadrant principal : Jean Delons
- Tuteur académique : Nicolas Coulombel

Confidentialité :

☐ Pas de confidentialité ☐ 3 ans ☐ 5 ans ☐ 10 ans ☐ 15 ans ☐ 20 ans

Franz André - Benjamin Leclerc

30/04/2025

Sommaire

- Généralités sur les modèles LUTI

- Deux exemples de modèles et d'applications :

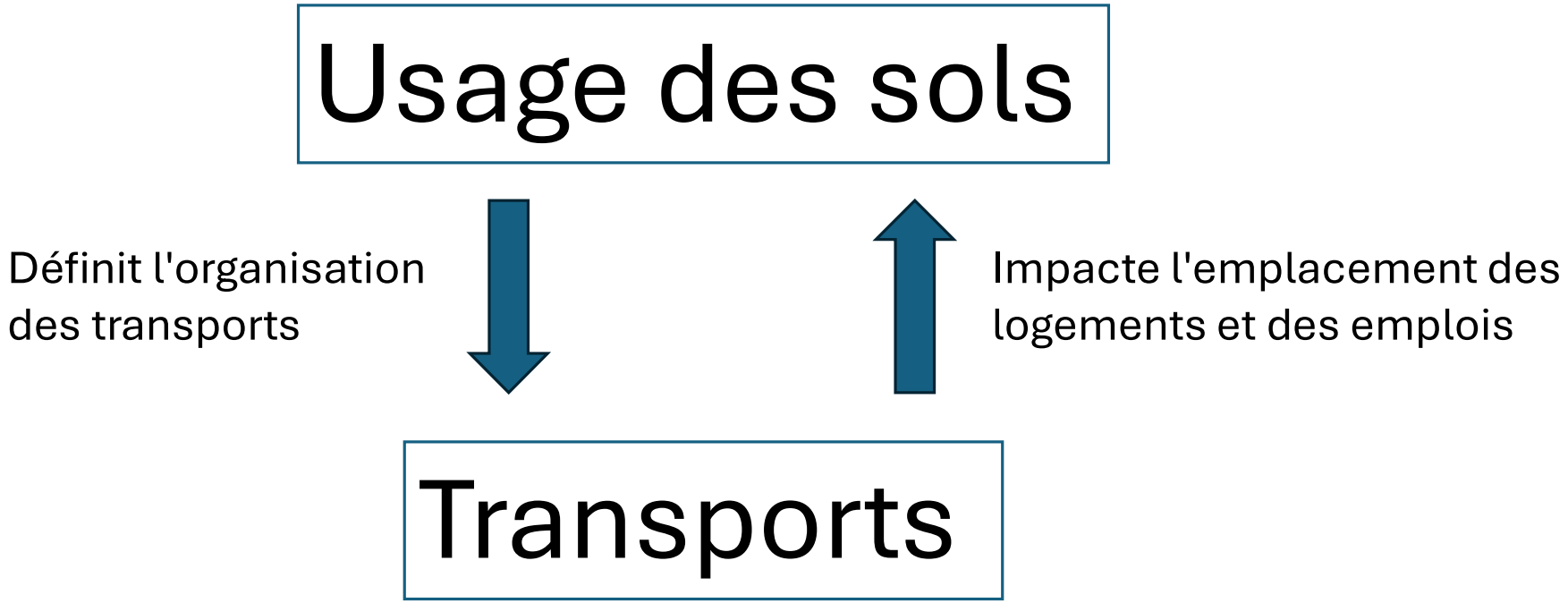
  - Modèle **monocentrique** et impact de **politiques tarifaires** sur le **prix des loyers** et l'**étalement urbain** dans l'agglomération parisienne

  - Modèle de **Pirandello** et impact du **RER A** sur le **développement urbain et économique** en Île-de-France

- Synthèse

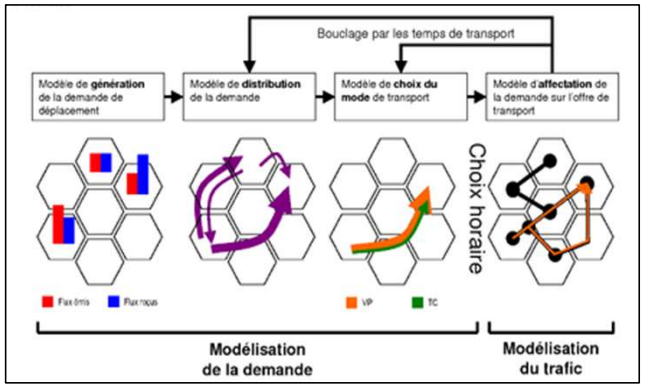
Les modèles LUTI - Généralités

- Les modèles LUTI cherchent à **modéliser les interactions entre transport et urbanisme**



Modèle LUTI ≠ Modèle de trafic

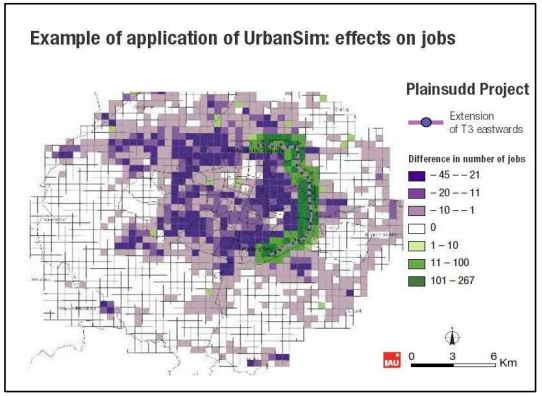
➢ Modèle de trafic



Entrée:
- Demande de transport
- Offre de transport

Sortie:
- Trafic (débit, densité, vitesse, ...)

➢ Modèle LUTI



Entrée:
- Situation initiale
- Constantes de caractérisation des dynamiques urbaines

Sortie:
- Evolution de la répartition des populations, emplois, bâtis, etc.

Les modèles LUTI peuvent se nourrir des modèles de trafic

Mais...

Volonté de comprendre les impacts des infrastructures de transport

Les **transports** sont associés à des **opportunités** plutôt qu'à des coûts

Modèles LUTI, une histoire de familles

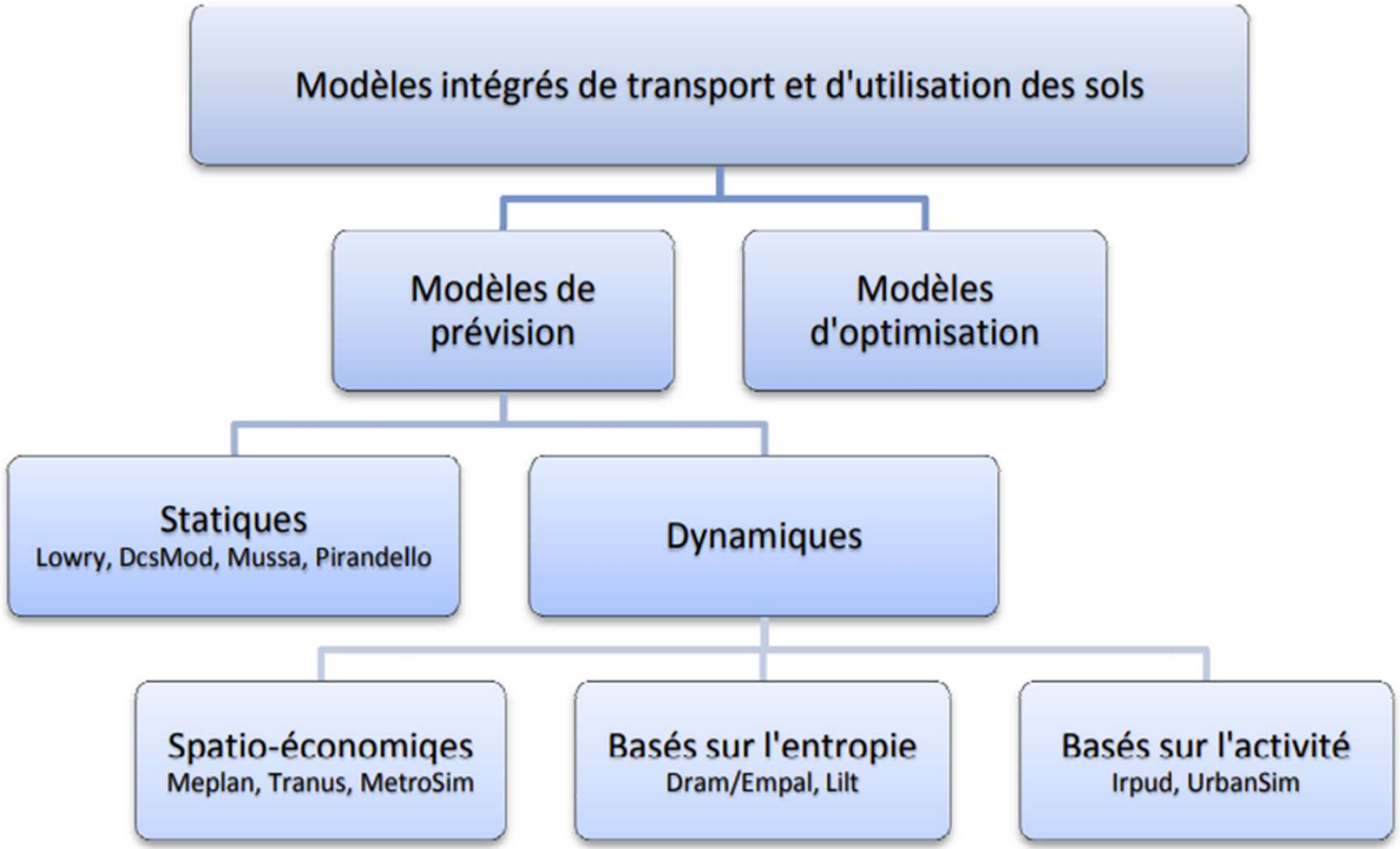


Figure 5 : Classification des modèles LUTI (source : Simmonds et Bates)

Modèle monocentrique : document source

- Analyse « **Théma** » du **Ministère de l'Environnement**, de l'Energie et de la Mer de **Novembre 2016** : « **Politiques de tarification des transports et formes urbaines** »

- Document du service de l'économie, l'évaluation et l'intégration du développement durable

- Etude réalisée en partenariat avec le CIRED

- Objectif de l'étude : analyser les effets de la tarification des transports sur le développement de l'agglomération parisienne

- Modèle utilisé : NEDUM-2D (CIRED, carroyé)

Modèle monocentrique - Rappels

La demande des ménages

Equation de base : $Y = p_Z Z + R_H(r)H + T(r)$

avec Y = revenu, Z: bien composite au prix pz, H: logement au prix TH(r), T(r) : coût de transport

Arbitrage entre accessibilité au centre et logement

En fixant la quantité de bien composite Zo : $Y - p_Z Z_0 - T(r) = R_H(r)H$

Le ménage compare les effets de l'éloignement par rapport au centre sur les coûts du transport et sur celui du logement. Le maximum est atteint quand le gain marginal réalisé sur le budget logement égale l'augmentation marginale du coût de transport : *condition de Muth* : condition sous laquelle le ménage peut acquérir une superficie maximale pour un niveau de consommation fixée.

Modèle monocentrique - Rappels

Maximisation de l'utilité sous contrainte :

Le ménage choisit r, Z et H de manière à maximiser la fonction d'utilité U(Z, H) sous contrainte de budget.

Dans le modèle à un seul type de ménage dans la ville monocentrique l'arbitrage se traduit par un gradient de prix du centre de l'agglomération vers la périphérie.

Mécanisme d'enchères sur l'immobilier

Montant maximum qu'un ménage à payer pour résider à une distance r pour une utilité u

Fonction d'enchère : $$\Psi(r,u) = \max_{Z,H} \left\{ \frac{Y - T(r) - Z}{H} \,\middle|\, U(Z,H) = u \right\}$$

La distance optimale face à une courbe de loyer RH(r) est atteinte au point de tangence entre cette courbe et la fonction d'enchère.

A utilité fixée la fonction d'enchère définit l'ensemble des loyers selon la distance.

Modèle monocentrique - Rappels

L'équilibre urbain :

Offre de logement : intermédiaire entre la demande des ménages et l'espace disponible au sol

Fonction de profit de la construction : $\max_{L,K} R_H(r, \bar{U})F(L, K) - R(r)L - K \quad \forall r$

avec F fonction de production, L sol et K capital

➔ Prix des terrains = prix maximum que la construction peut offrir dans le contexte de la demande des ménages : équilibre de la demande des ménages et du secteur de la construction

➔ Prix décroissants depuis le centre, si le prix transport augmente alors gradient de prix immobilier augmente

Modèle monocentrique - Rappels

Interactions entre transport et étalement urbain

Modèles carroyés pour décrire plus précisément la variation des coûts de transports en fonction de la localisation

Prise en compte des coûts monétaires et non monétaires du transport

Modèle monocentrique - Limites

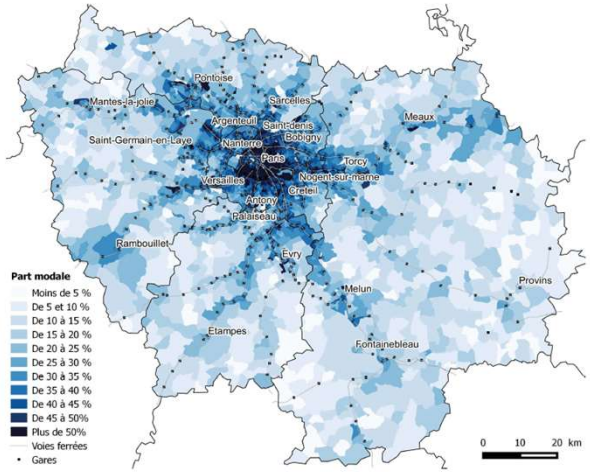
- Monocentrique
- Trajets domicile travail uniquement
- Hétérogénéité des ménages non prise en compte
- Contraintes réglementaires qui distordent le marché
- Pas prise en compte de l’inertie
- Pas de prise en compte de différents attributs de la fonction d’utilité des ménages

Application sur l’agglo parisienne - Calibration

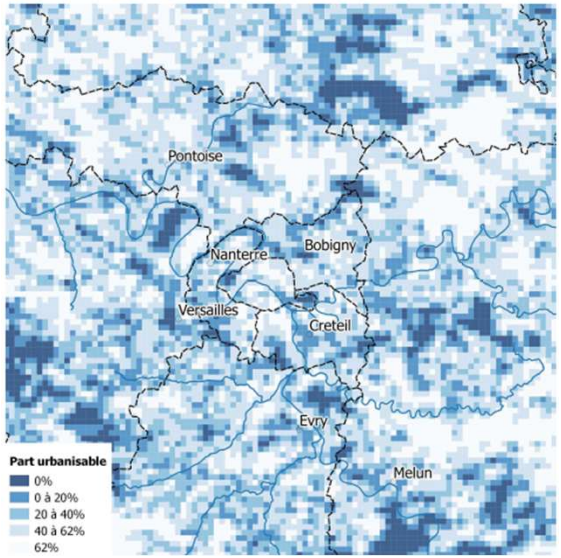
<u>Hypothèses</u> :

- Revenu annuel des ménages 33 000 €, budget logement 30%
- Carroyage et proportion d’espace constructible →
- Parts modales pour les trajets domiciles travail

Figure 5 – Part modale des transports en commun pour les trajets domicile-travail dans l'agglomération parisienne



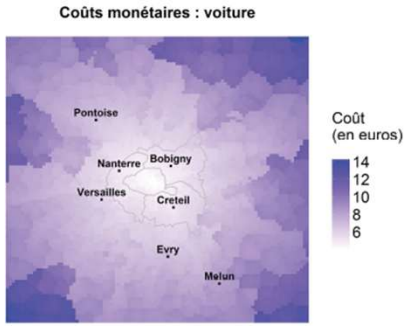
Source : Mobilités professionnelles, Recensement 2012, Insee

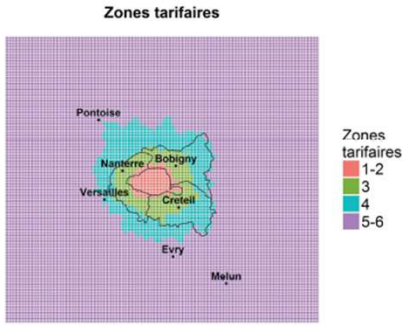


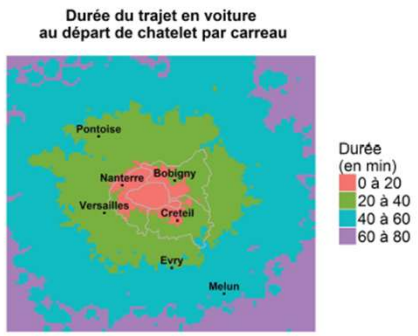
Application sur l'agglo parisienne - Calibration

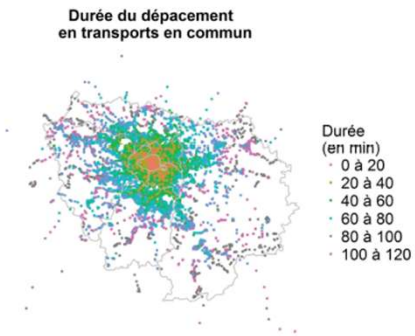
Hypothèses :

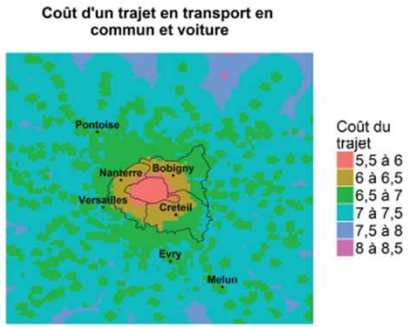
- Coûts de trajet et Temps de trajet

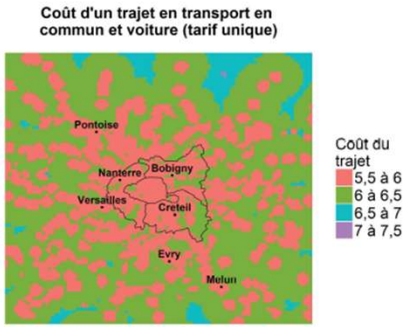


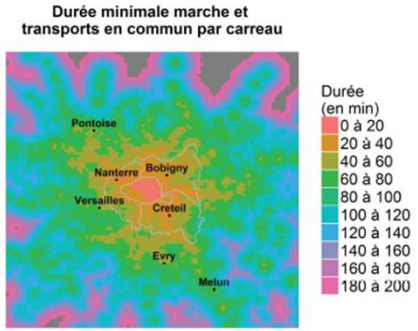


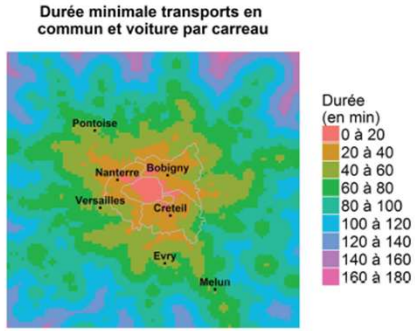








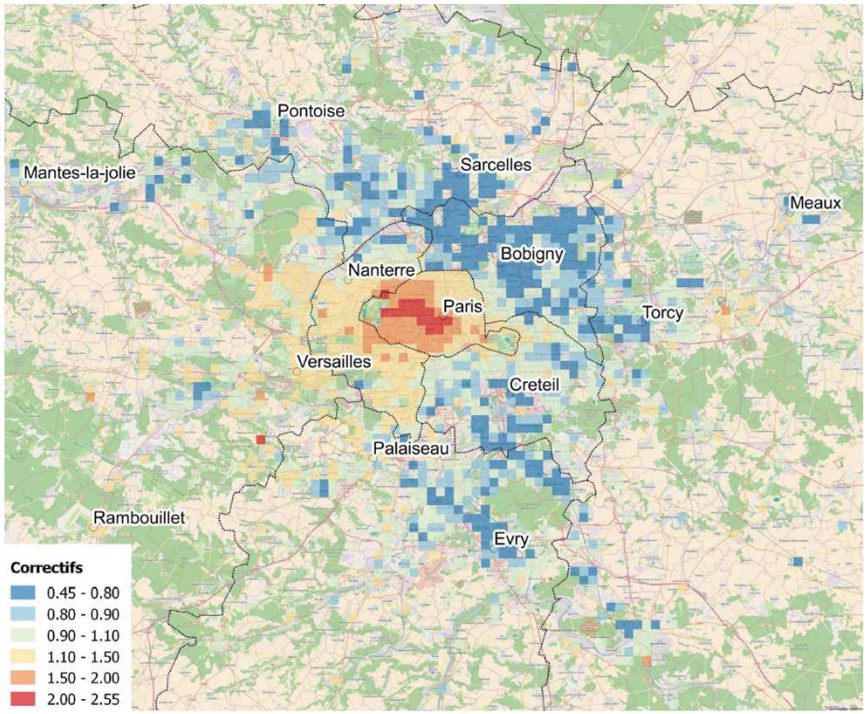




Application sur l'agglo parisienne - Calibration

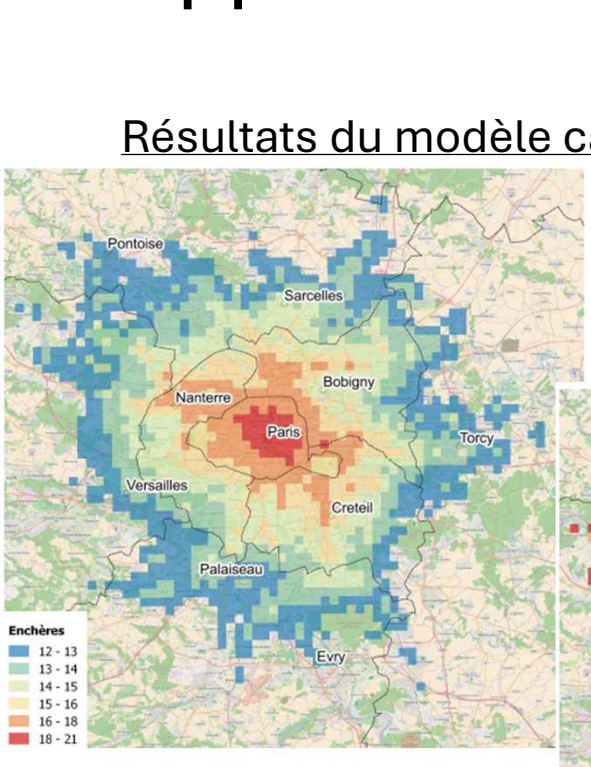
Résultats du modèle non calibré :

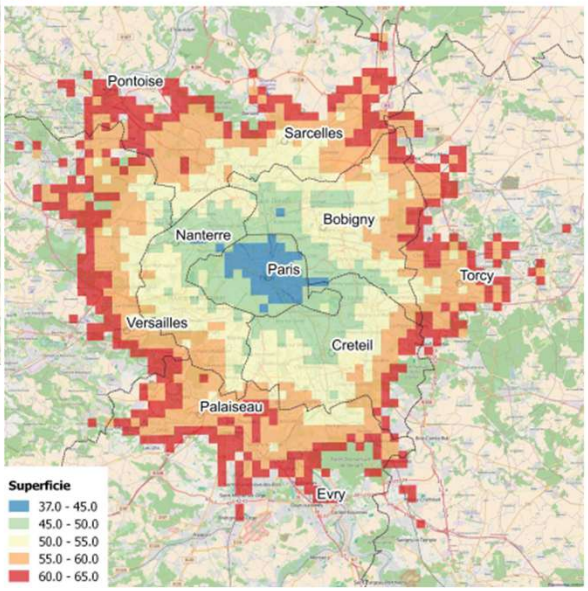
Ecarts entre les prix de logement modélisés et observés ➔ facteurs correctifs

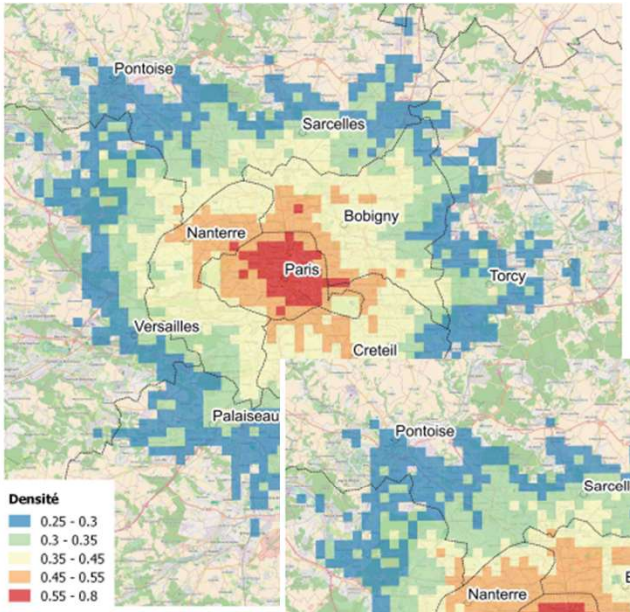


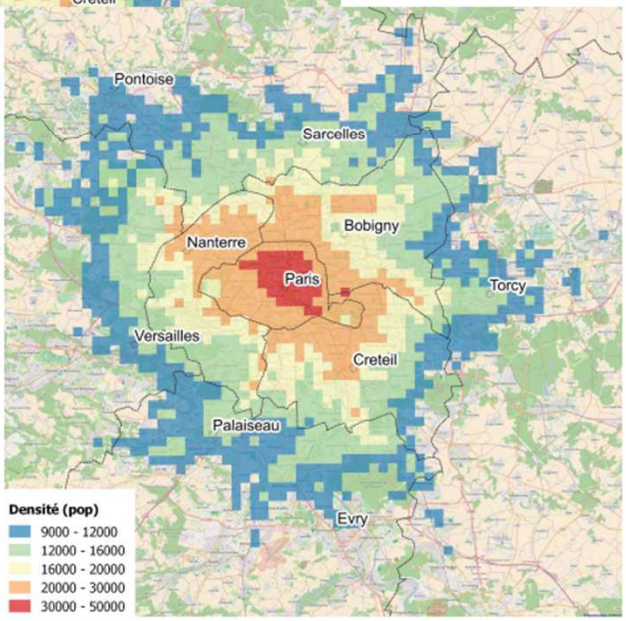
Application sur l'agglo parisienne - Calibration

Résultats du modèle calibré :





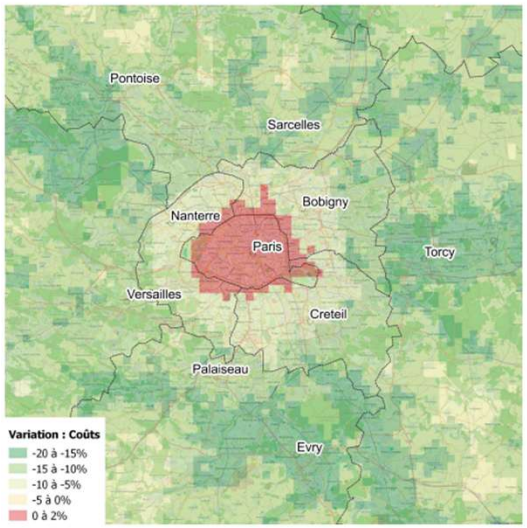


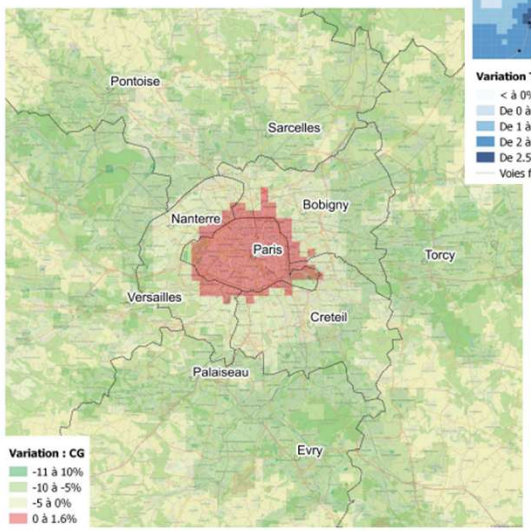


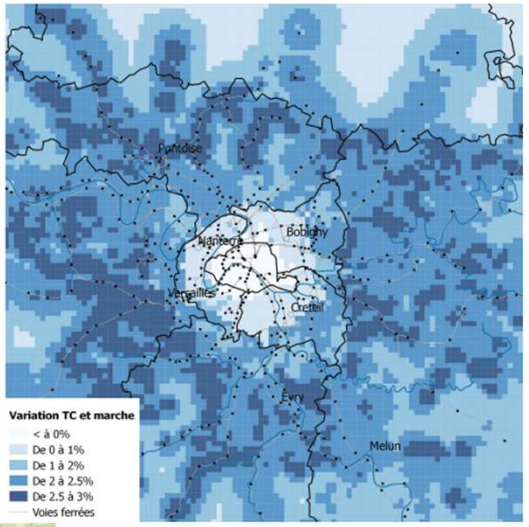
Modèle monocentrique - Tarif TC unique

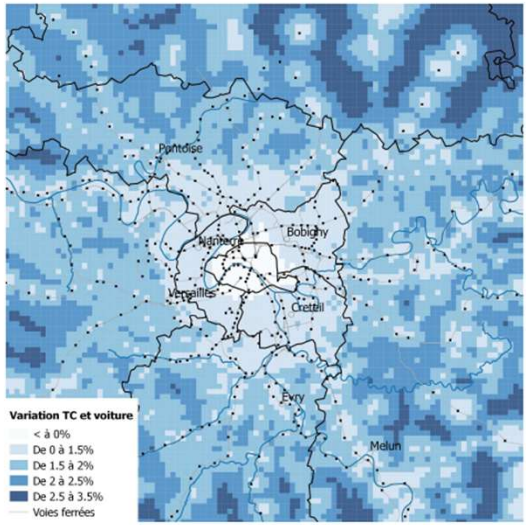
Augmentation de la part des TC

Variation des coûts de transport







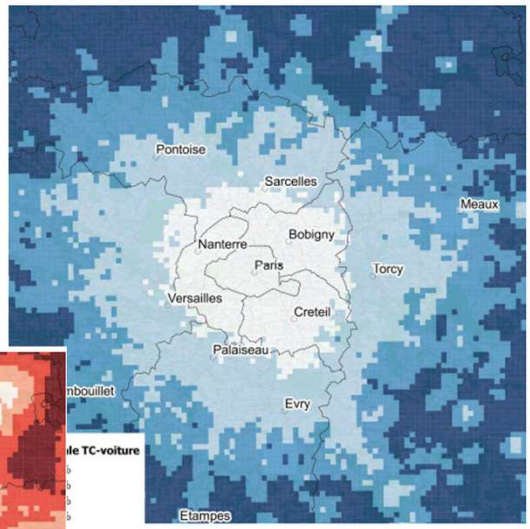


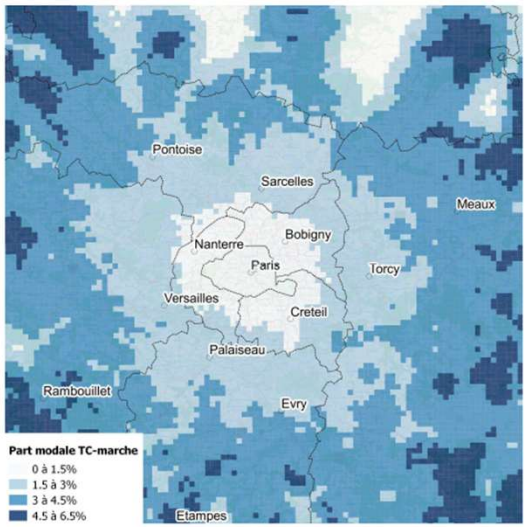
Modèle monocentrique - Taxe carbone

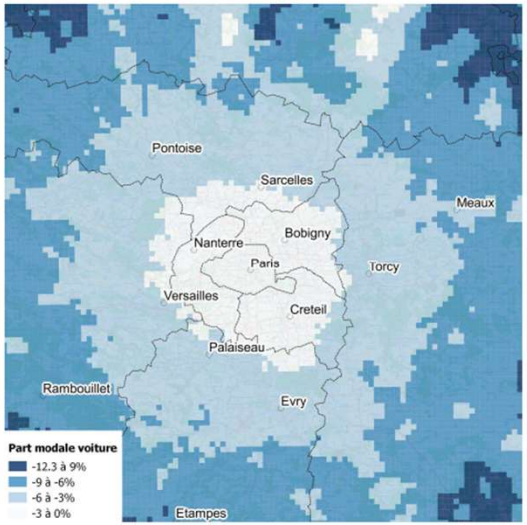
Augmentation de la part des TC

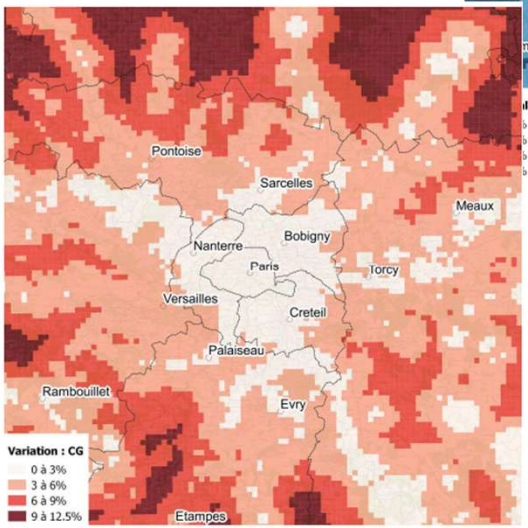
Baisse part modale voiture

et augmentation du CG







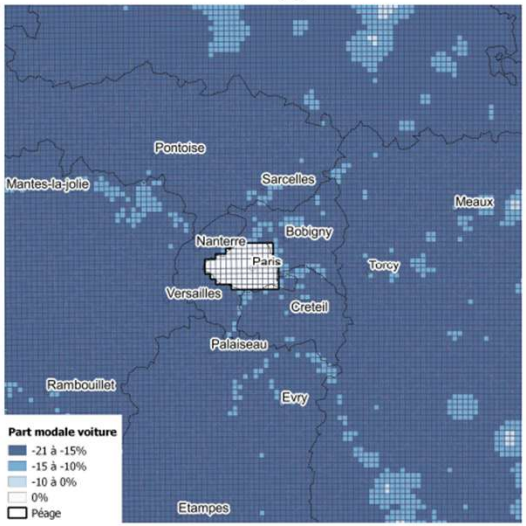


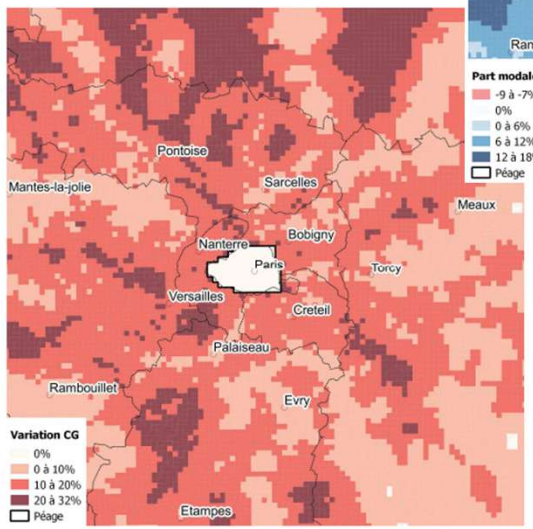
Modèle monocentrique - Péage urbain

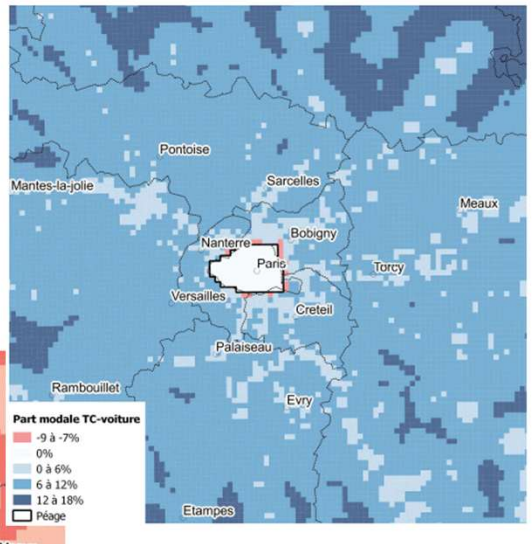
Augmentation de la part des TC

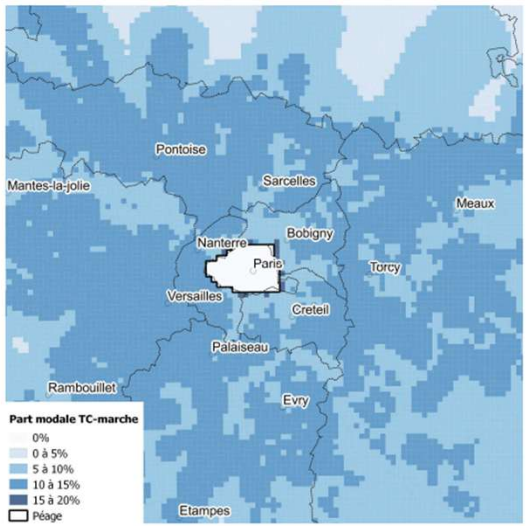
Baisse part modale voiture

et augmentation du CG



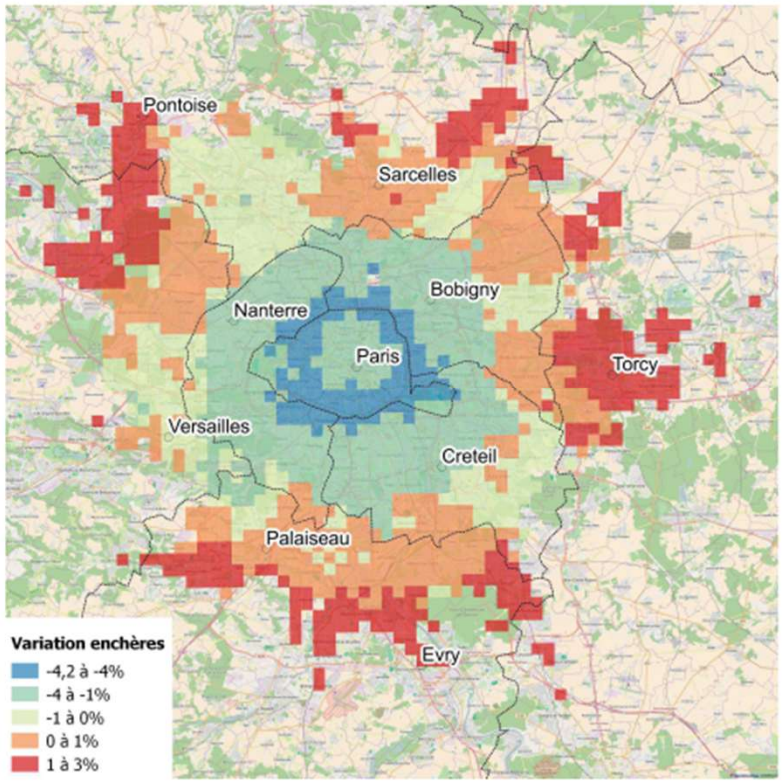


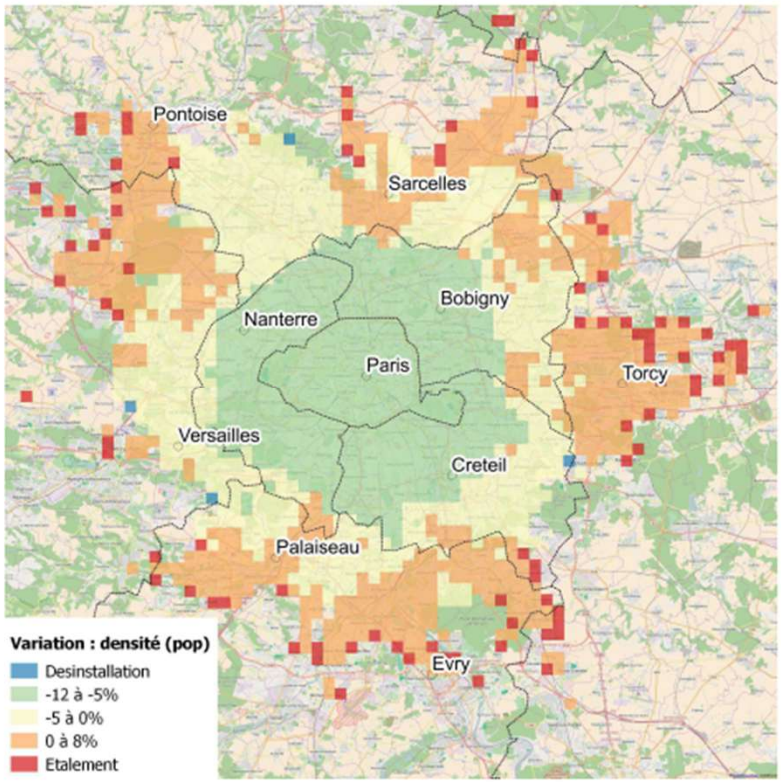




Modèle monocentrique - Tarif TC unique

Diffusion de la pression foncière





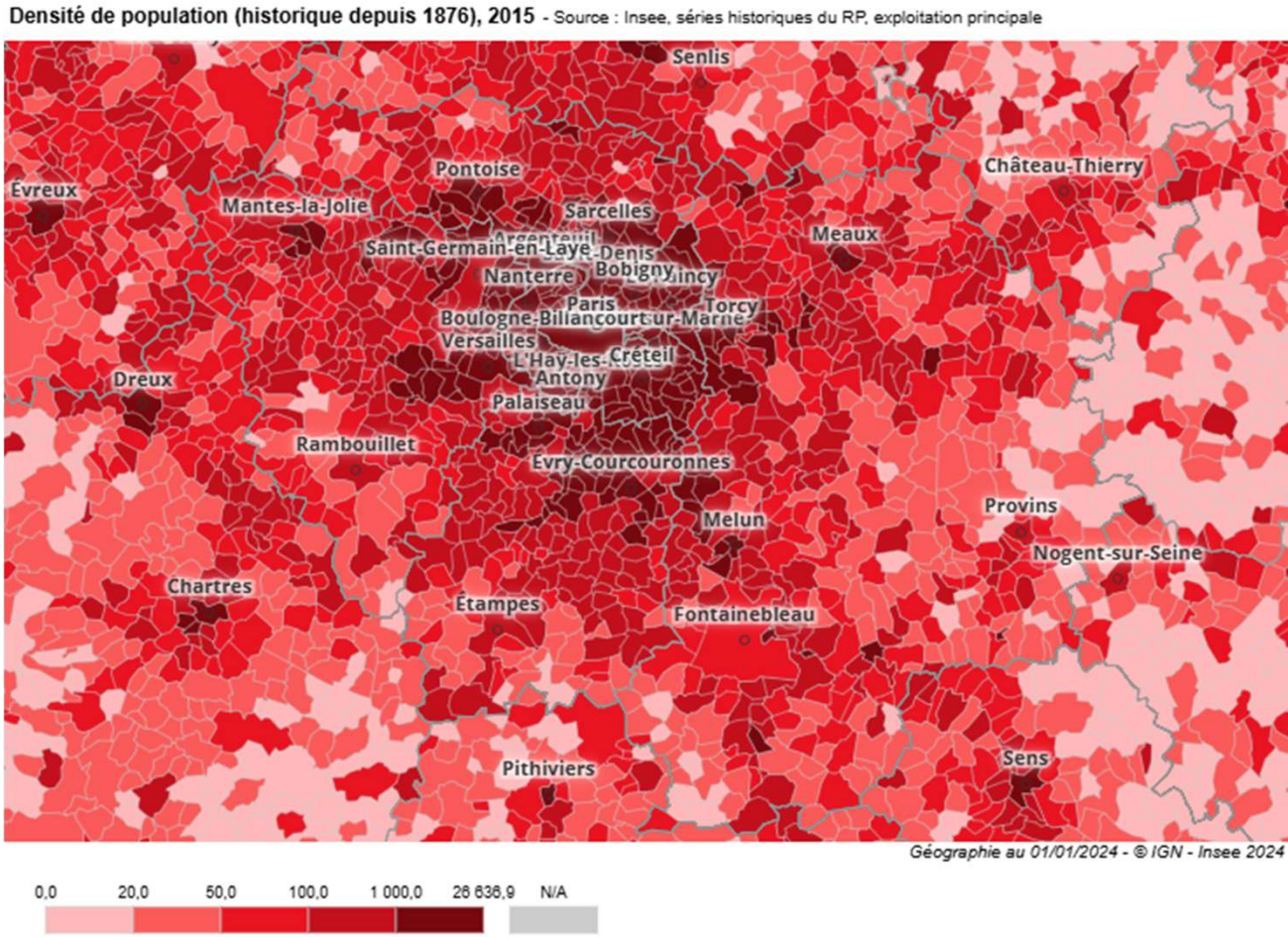
Modèle monocentrique - Tarif TC unique

Evolution réelle de la densité de population

Densité Paris 2015 :
20 934 hab / km²

Chessy 894 hab / km²

Plaisir 1 705 hab / km²



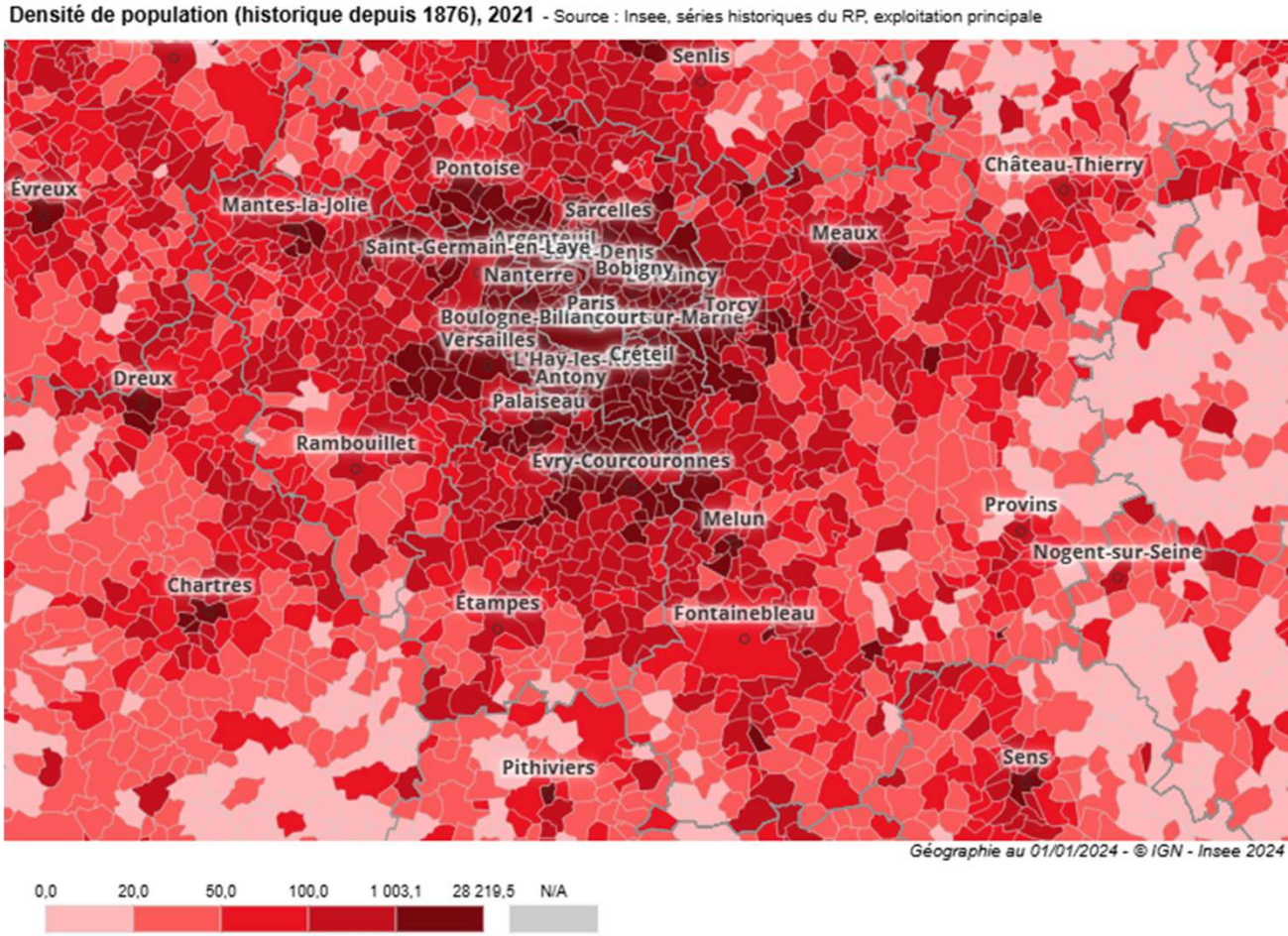
Modèle monocentrique - Tarif TC unique

Evolution réelle de la densité de population

Densité Paris 2021 :
20 238 hab / km^2 = -3,3%

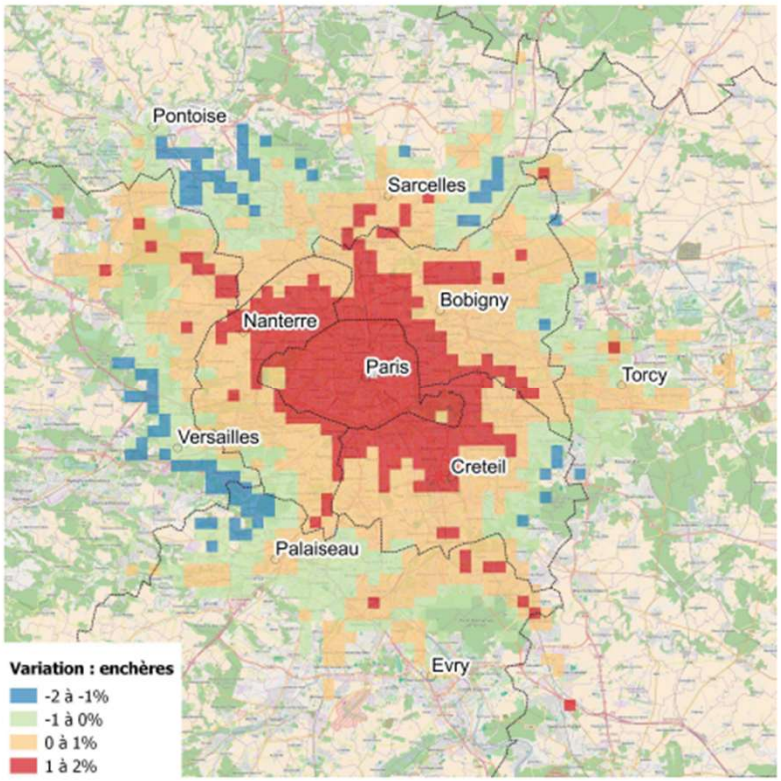
Chessy 1 198 hab / km^2 = +34%

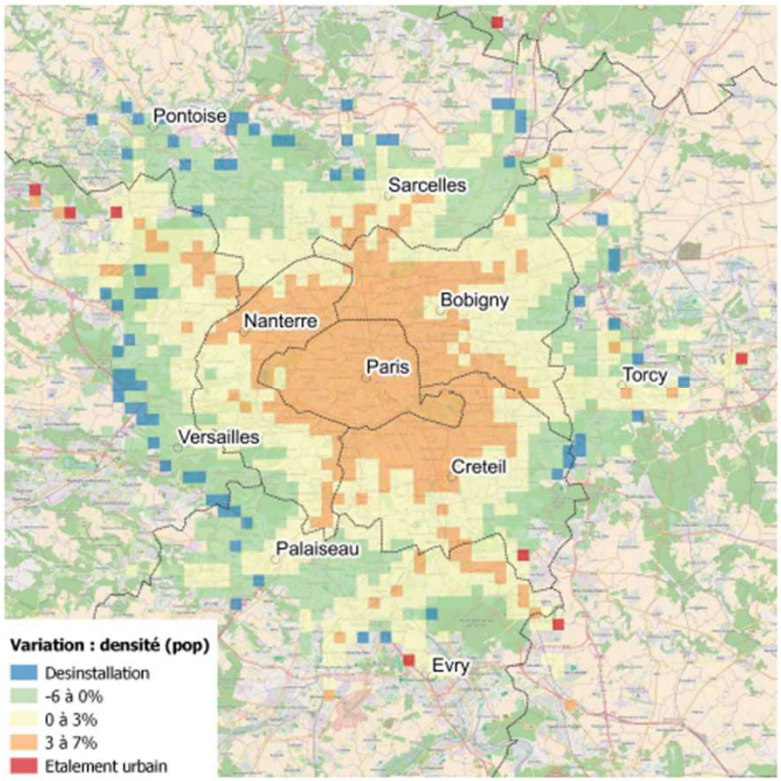
Plaisir 1 680 hab / km^2 = -1,5%



Modèle monocentrique - Taxe carbone

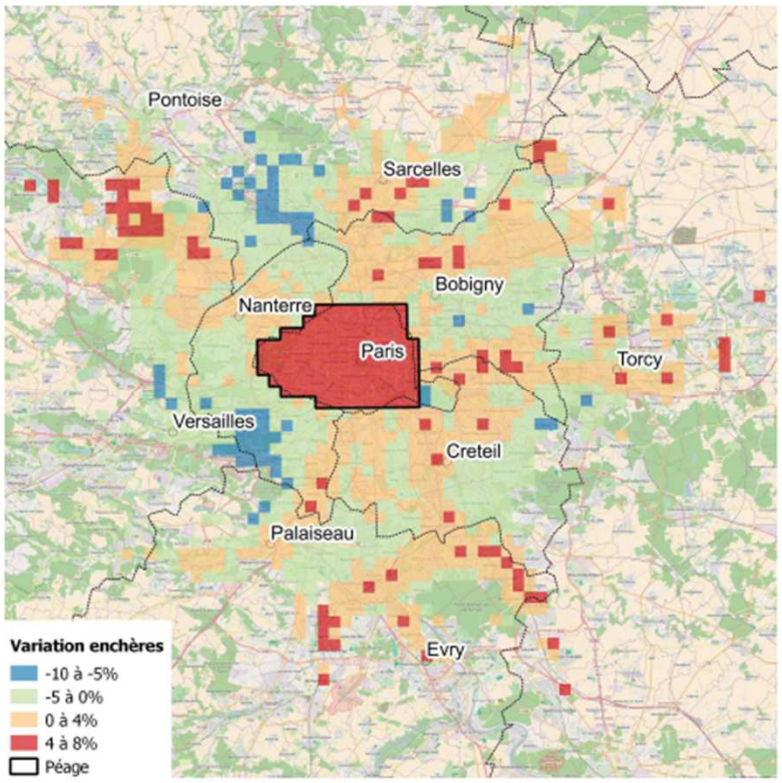
Resserrement de l'agglomération autour des gares

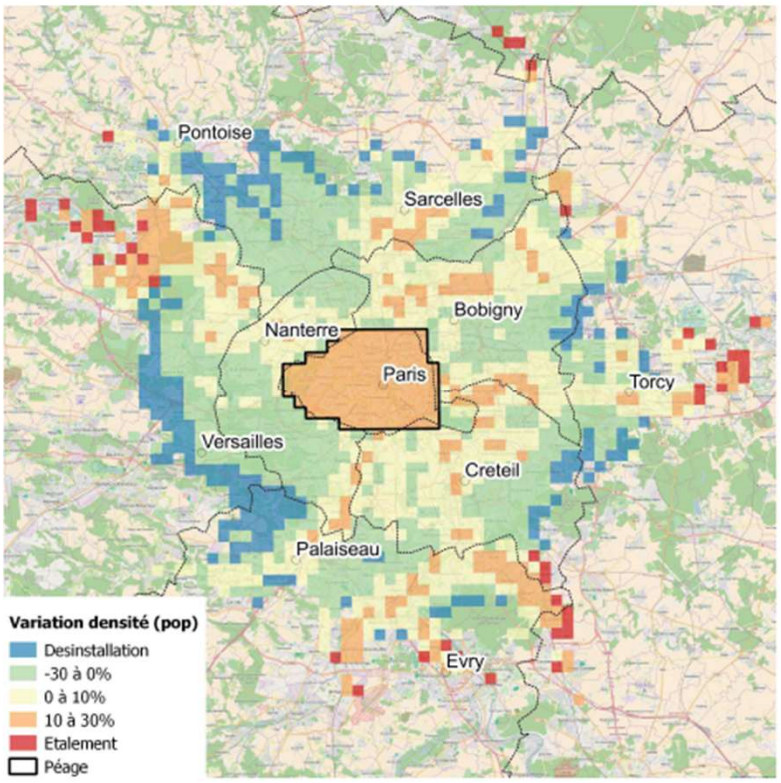




Modèle monocentrique - Péage urbain

Resserrement à l'intérieur du péage et autour des axes ferroviaires





Modèle monocentrique - Synthèse résultats

	Surfaces urbanisées
Tarif TC unique	+ 6%
Taxe carbone 200 € / tonne	- 4%
Péage urbain 10 € / jour ouvrable / actif	- 7%

Mais **valeurs réelles sans doute plus faibles à cause des hypothèses réductrices** :

- déplacements dirigés uniquement vers le centre, localisation des entreprises
- ville en équilibre : non prise en compte de l'inertie

Impact limité des coûts monétaires du transport

Modèle monocentrique - Synthèse résultats

	Surfaces urbanisées
Tarif TC unique	+ 6%
Taxe carbone 200 € / tonne	- 4%
Péage urbain 10 € / jour ouvrable / actif	- 7%

Mais **valeurs réelles sans doute plus faibles à cause des hypothèses réductrices** :

- déplacements dirigés uniquement vers le centre, localisation des entreprises
- ville en équilibre : non prise en compte de l'inertie

Impact limité des coûts monétaires du transport

Un passage sur le modèle Pirandello

Deux types d'agents :

- Les résidents : sont affectés par l’accessibilité, le confort domestique, l'environnement et les coûts

- Les emplois : sont affectés par la productivité, les salaires, la fiscalité et les coûts

Les résidents sont uniquement différenciés via leurs revenus.

Un passage sur le modèle Pirandello

- Caractérisation de différentes zones {1, … , n }, auxquelles on associe une accessibilité A_i :

$$A_i = \lambda \,.\log\left(\sum_j R_j.\, e^{-\beta.C_{ij}}\right)$$

- A_i : accessibilité (utilité, satisfaction) de l'individu par rapport à l'ensemble des choix possibles des activités de la ville ;
- λ : constante d'ajustement ;
- i : la zone de résidence de l'individu ;
- R_j : nombre de ressources de la zone j ;
- C_{ij} : coût généralisé du transport de la zone i vers la zone j ;
- β : paramètre de la sensibilité au coût généralisé (coefficient de conductance des modèles gravitaires).

Un passage sur le modèle Pirandello

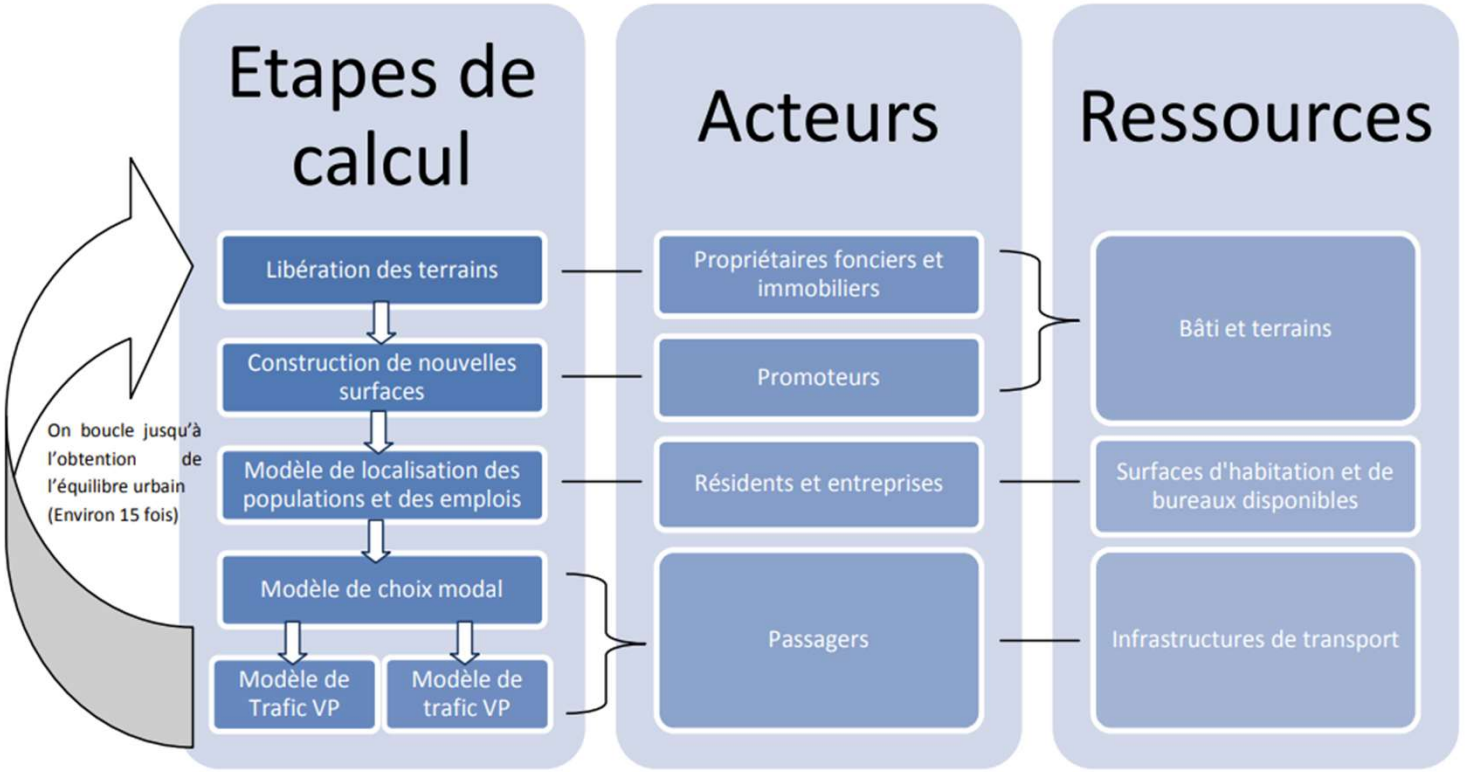
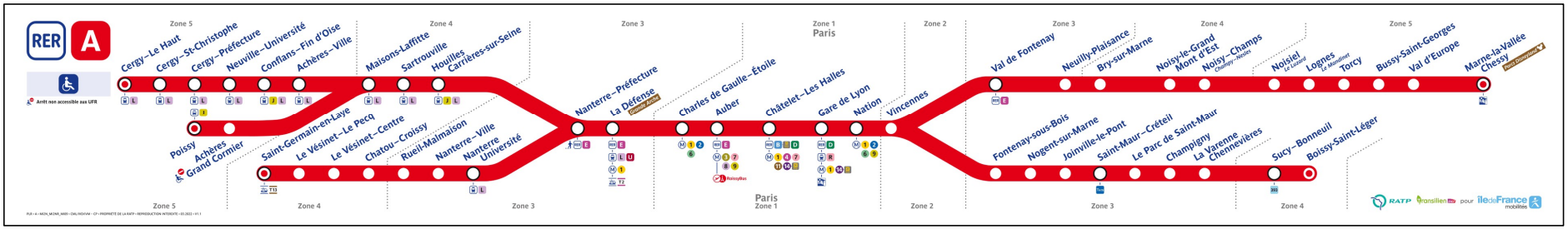


Figure 8 : Etapes, acteurs et ressources du modèle Pirandello (source : Delons)

Modèle Pirandello et ligne A du RER



D'abord, il s'agit de "caler" le modèle

- Calage synchronique
- Calage diachronique

Modèle Pirandello et ligne A du RER (Calage)

Un peu de contexte

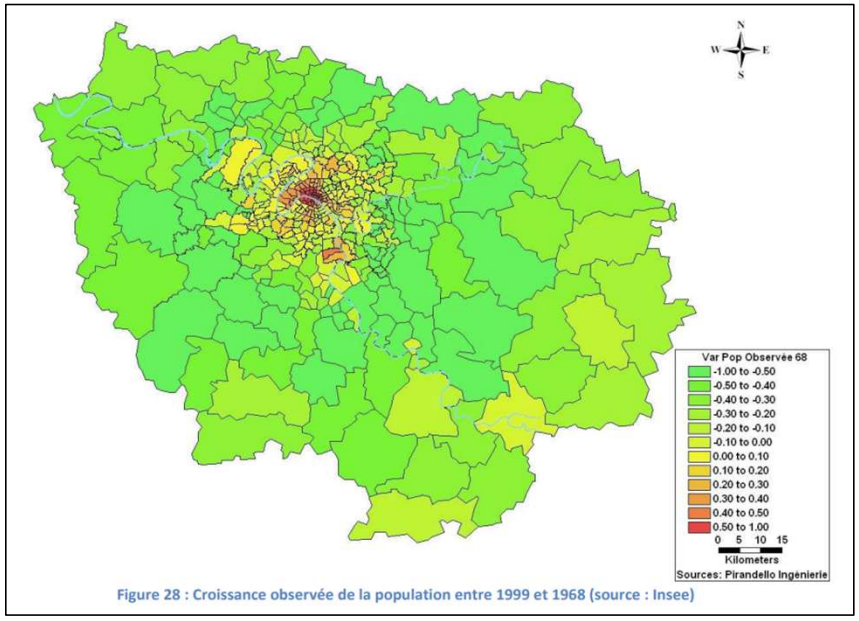


Figure 28 : Croissance observée de la population entre 1999 et 1968 (source : Insee)

Un peu de résultats

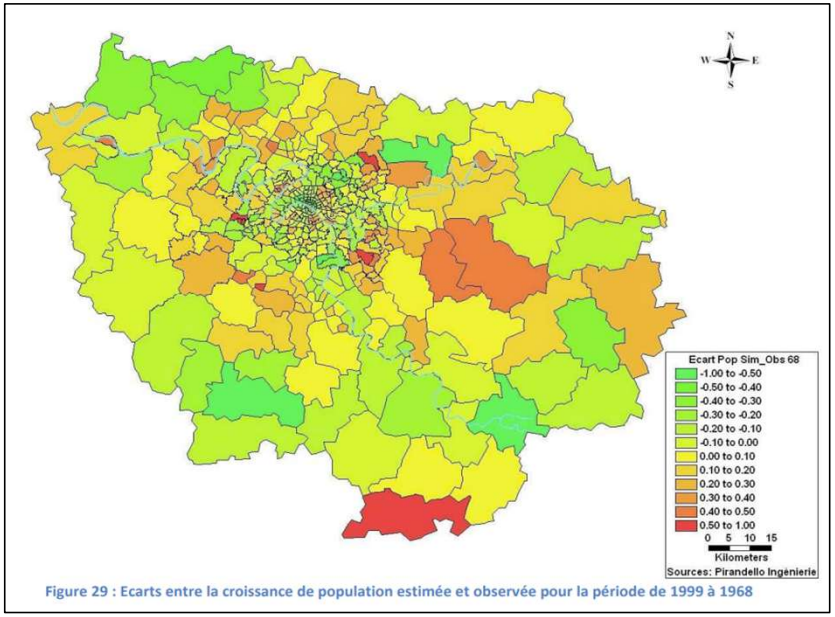


Figure 29 : Ecarts entre la croissance de population estimée et observée pour la période de 1999 à 1968

Modèle Pirandello et ligne A du RER (Calage)

Un peu de contexte

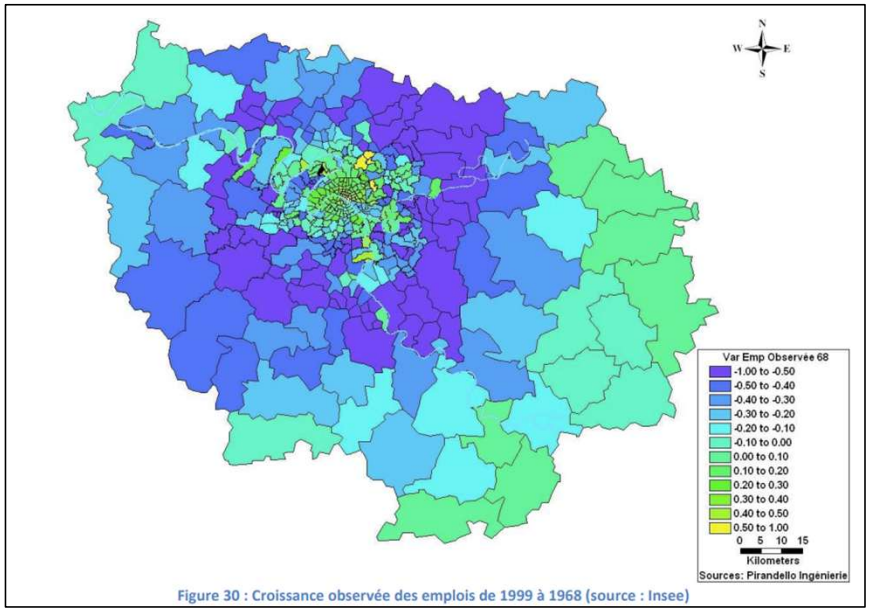


Figure 30 : Croissance observée des emplois de 1999 à 1968 (source : Insee)

Un peu de résultats

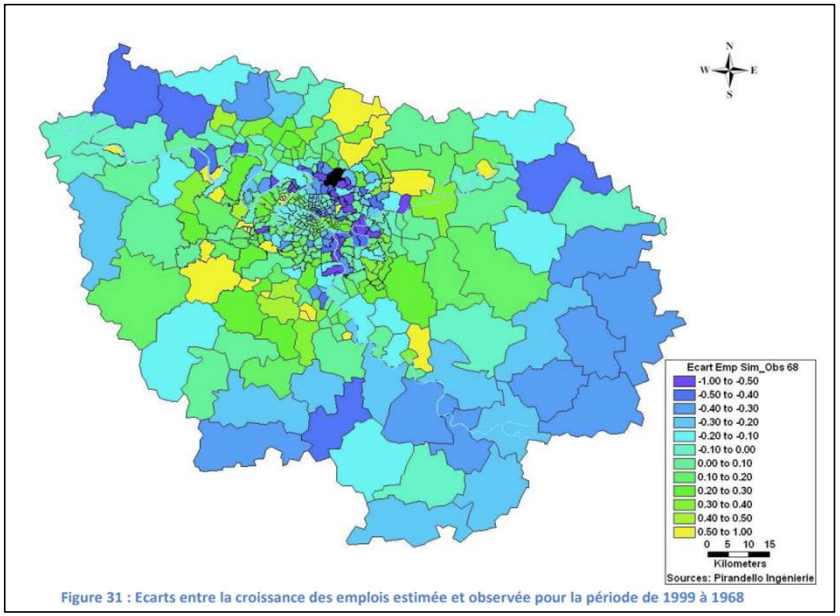


Figure 31 : Ecarts entre la croissance des emplois estimée et observée pour la période de 1999 à 1968

Modèle Pirandello et ligne A du RER (Simulation)

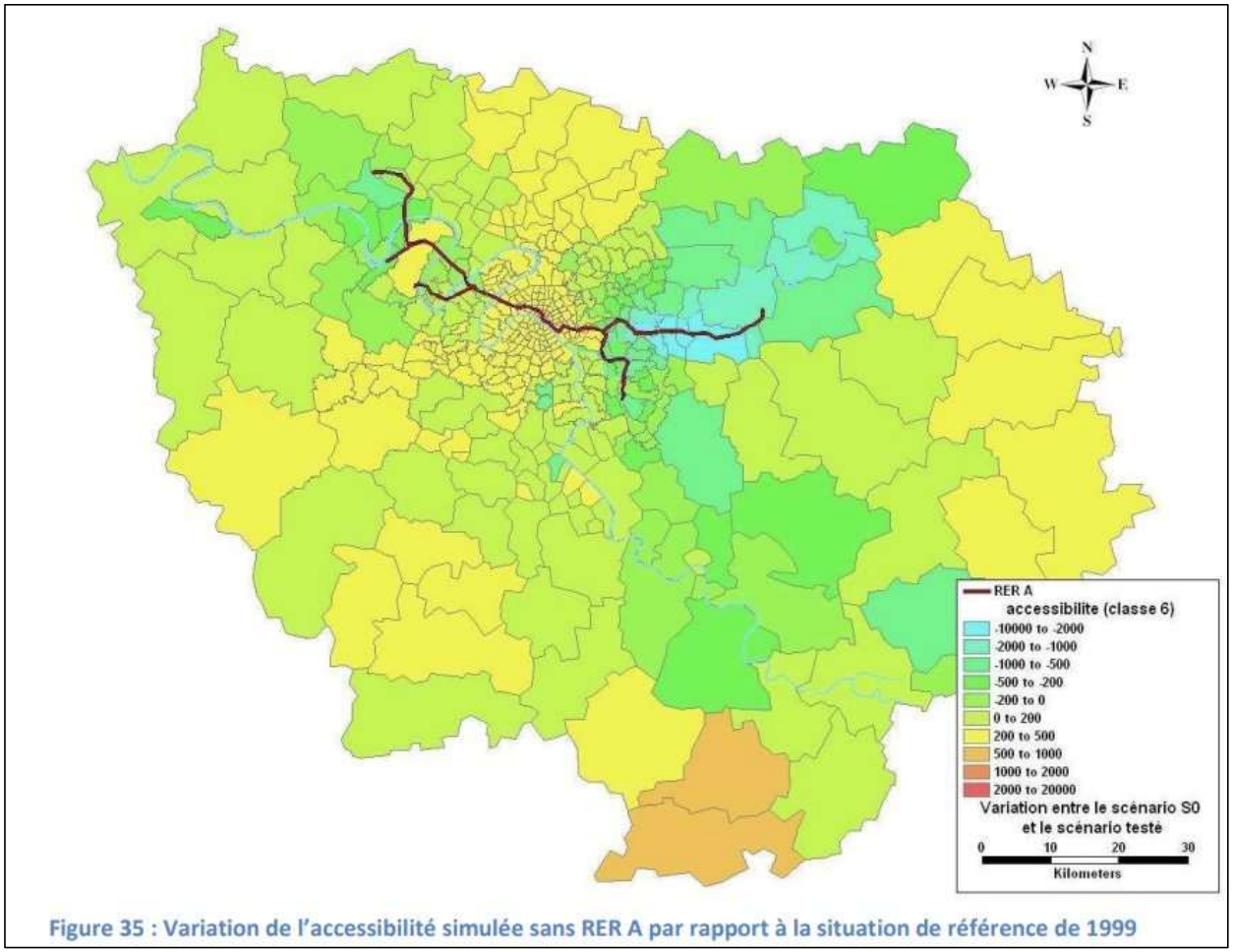


Figure 35 : Variation de l'accessibilité simulée sans RER A par rapport à la situation de référence de 1999

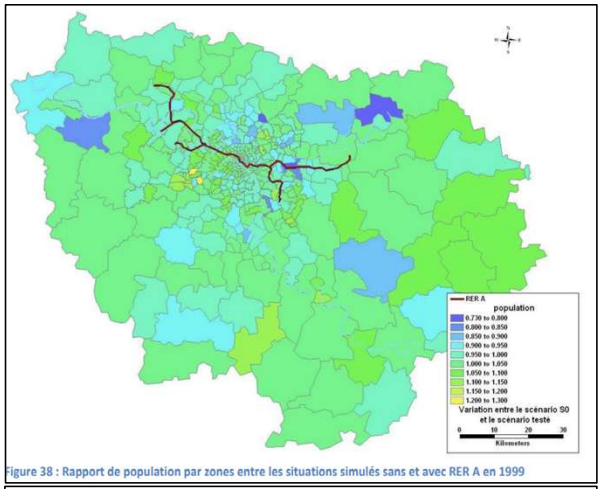


Figure 38 : Rapport de population par zones entre les situations simulés sans et avec RER A en 1999

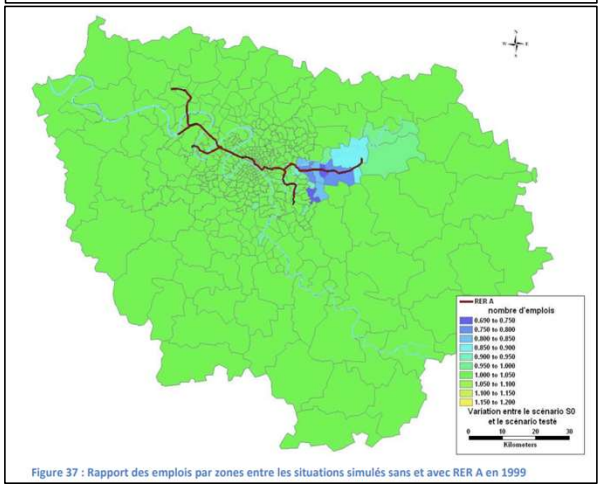


Figure 37 : Rapport des emplois par zones entre les situations simulés sans et avec RER A en 1999

Modèle Pirandello et ligne A du RER (Simulation)

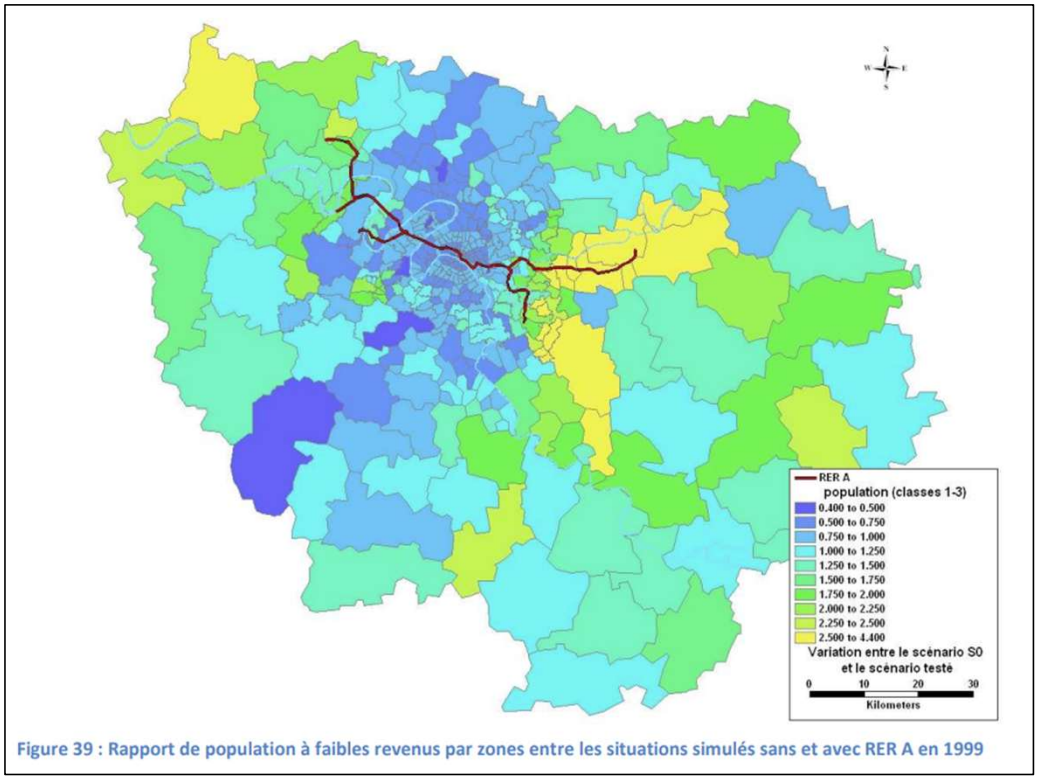


Figure 39 : Rapport de population à faibles revenus par zones entre les situations simulés sans et avec RER A en 1999

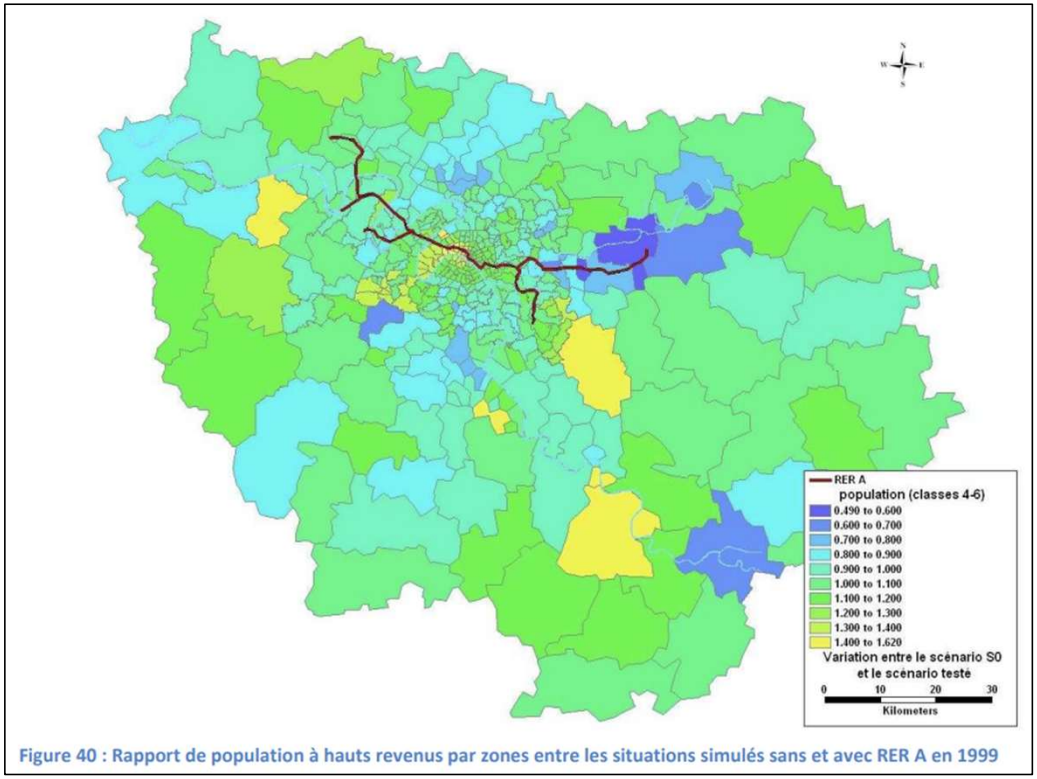


Figure 40 : Rapport de population à hauts revenus par zones entre les situations simulés sans et avec RER A en 1999

Modèle Pirandello et ligne A du RER (Simulation)

➡ Plus de résultats

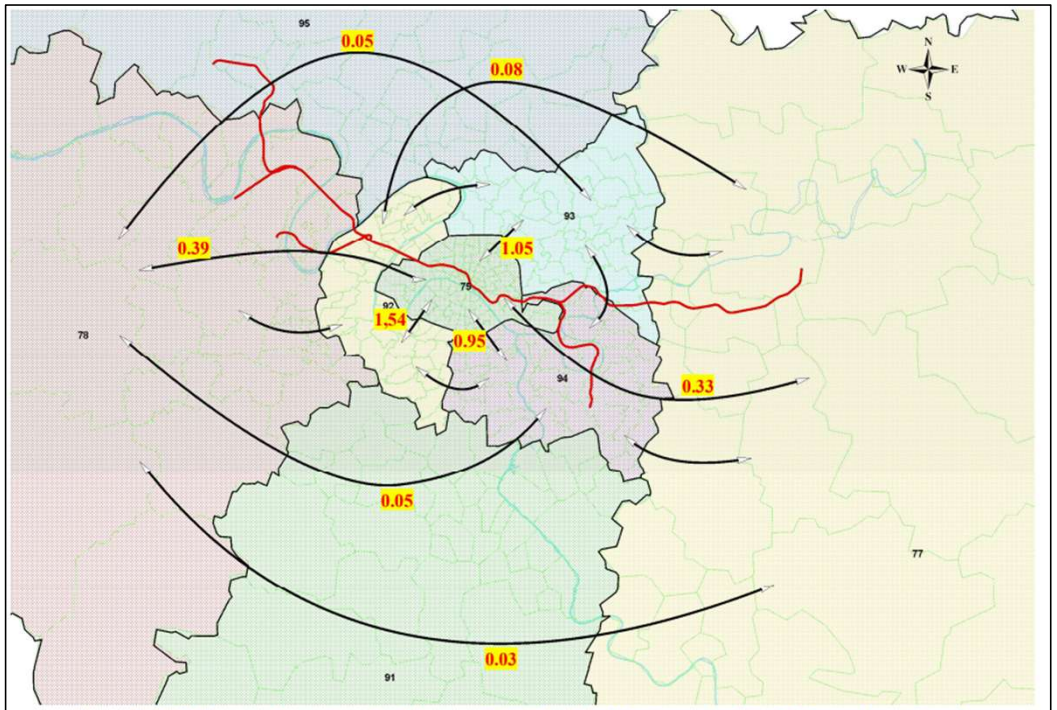


Figure 34 : Déplacements par jour simulés sous AELH entre les départements d'Ile-de-France (en millions)

- Gain de temps global par an estimé à 1,5 M € (valeur du temps)
- Gain pour l'économie d'IDF : 6,9 M € soit +1,8% du PIB francilien

Comparaison des modèles

Modèle monocentrique	Modèle Pirandello
Plus simple à calculer, moins de complexité	Plus gourmand en ressources
Utilisation d'un unique CBD	Possibilité d'envisager une ville polycentrique
Trajets domiciles travail uniquement	Caractérisation d'une accessibilité englobant tous les trajets potentiels
Ménages non différenciés	Ménages caractérisés par leurs revenus
Pas de prise en compte de différents attributs de la fonction d'utilité des ménages	Intégration d'attributs multiples en fonction de la zone occupée
Modèle statique	Couplé à un modèle de trafic

Synthèse

- Deux modèles complémentaires, **intérêt d'utiliser différents modèles pour confirmer des résultats**

- **Importance de la calibration**, impossibilité de caler parfaitement un modèle

- **Résultats à interpréter avec prudence** compte tenu des limites des modèles et de l'impact d'autres phénomènes