

# ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES



**École des Ponts**

ParisTech



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

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**DRIEAT Île-de-France**

Direction régionale et interdépartementale de  
l'environnement, de l'aménagement et des transports

---

## Territorialisation des résultats du modèle régional des déplacements Modus 3.1

### Rapport de stage court effectué à la DRIEAT et du stage SISO

encadré par Guillaume Tremblin et Luc Charansonney

---

Adam MOURJANE

## Fiche de synthèse

- Type de stage : Stage court
- Année : 2023
- Auteur (Nom, prénom) : Mourjane Adam
- Formation 2ème année (IMI, GI, SEGF, etc.) : VET
- Titre du rapport : Territorialisation des résultats du modele régional des déplacements Modus 3.1
- Organisme d'accueil : DRIEAT - SCDD - DMEM
- Pays d'accueil : France
- Responsable de stage : Luc Charansonney et Guillaume Tremblin
- Mots-clés caractérisant votre rapport (4 à 5 mots maximum) : Modus, indicateurs, EPCI, études, Python.

## Résumé

Afin d'évaluer des projets de transports en amont de leur réalisation, la DRIEAT, sous l'autorité du préfet de la Région Île-de-France, développe et maintient le modèle Modus depuis 1996. Grâce à ce modèle, on peut obtenir des données sur le choix du mode de transport, la fréquentation et la saturation, que ce soit sous forme de données agrégées à l'échelle de la région ou à celle d'une zone Modus. Cependant, l'interprétation des sorties du modèle pour un acteur local (commune ou EPCI) peut être délicate, car les zones Modus ne suivent pas toutes les frontières administratives. L'objectif du stage est donc de proposer et de coder de nouveaux indicateurs qui permettront à ces acteurs de se faire une idée plus précise de la mobilité sur leurs territoires et de l'impact de différents projets sur les comportements des individus.

## Abstract

In order to assess transport projects before their implementation, the DRIEAT, under the authority of the Prefect of the Île-de-France Region, has developed and maintained the Modus model since 1996. Through this model, data can be obtained regarding mode choice, ridership, and congestion, both in the form of aggregated data at the regional level and at the level of a Modus zone. However, interpreting the model's outputs for a local actor (municipality or county) can be challenging as Modus zones do not align with every administrative boundaries. Therefore, the objective of the internship is to propose and code new indicators that will allow these actors to have a more accurate understanding of mobility in their territories and the impact of different projects on individual behaviors

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>3</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2 Présentation de l'organisme d'accueil et du maître de stage</b>	<b>5</b>
2.1 Qu'est-ce que la DRIEAT ? . . . . .	5
2.2 Pourquoi je fais un stage dans une administration publique ? . . . . .	5
2.3 Mon stage et le service dans lequel il s'inscrit . . . . .	7
2.3.1 Le DMEM . . . . .	7
2.4 Encadrement et sujet du stage . . . . .	7
<b>3 Modus : le modèle prédictif des déplacements utilisé par le DMEM</b>	<b>9</b>
3.1 Le zonage Modus . . . . .	9
3.2 L'utilisation des résultats du modèle Modus . . . . .	11
3.3 Les enjeux du modèle Modus . . . . .	11
<b>4 L'enjeu de la territorialisation des résultats</b>	<b>13</b>
4.1 L'intérêt de regarder les sorties intermédiaires de Modus pour quantifier le report modal . . . . .	13
4.2 Choisir un bon indicateur à la bonne échelle . . . . .	13
<b>5 Résultats obtenus</b>	<b>15</b>
5.1 L'agrégation à l'échelle des EPCI : de la nécessité de recalculer les étapes de génération et de choix modal . . . . .	15
5.2 Définition des indicateurs pertinents et explications . . . . .	16
5.3 Quelques cartes et indicateurs obtenus et explications . . . . .	17
5.3.1 La répartition des déplacements par motif . . . . .	17
5.3.2 La quantification du report modal entre les horizons . . . . .	19
5.4 A l'échelle d'un EPCI ou d'une commune : l'exemple de Vincennes . . . . .	21
5.4.1 Où vont les habitants de Vincennes le matin ? . . . . .	21
5.4.2 Comment évoluent les temps de parcours en transport en commun entre 2012 et 2030 ? . . . . .	21
5.4.3 Quel sont les modes choisis pour chaque motif ? Quels sont les motifs dominants pour un mode donné ? . . . . .	22
5.4.4 Comment quantifier l'efficacité de la desserte de transport en commun sur un territoire donné ? . . . . .	24
5.5 Extension : sensibilité au levier du télétravail, de la démotorisation, etc. . . . .	26
<b>6 Conclusion et bilan personnel</b>	<b>27</b>
<b>Références</b>	<b>28</b>

# 1 Introduction

Dans le cadre de ma formation en deuxième année au département VET (Ville Environnement Transport), en double diplôme avec l'ENS (Ecole Normale Supérieure), j'ai choisi d'effectuer un stage court durant l'été. De plus, suite à mon admission au corps des IPEF (ingénieurs des Ponts, des Eaux et des Forêts), il m'a été demandé d'effectuer un SISO (stage d'immersion en service opérationnel) d'une durée d'une semaine. Ce stage d'observation permet de découvrir le quotidien d'une administration et de mieux en comprendre le fonctionnement global en échangeant avec des membres de celle-ci. Ainsi, l'enjeu est double : un stage technique, avec codage en Python et manipulation des sorties intermédiaires de Modus Python ; et professionnalisant avec des entretiens et la participation à la vie de l'équipe ainsi qu'au fonctionnement de l'encadrement.

Ce rapport commence donc par une présentation de la DRIEAT et du service dans lequel j'ai effectué mon stage. Puis il expose le fonctionnement et les enjeux du modèle de déplacement Modus dont l'objectif est d'exploiter les sorties intermédiaires. Enfin, les indicateurs définis à partir de ces sorties intermédiaires seront définis, puis représentés, à l'échelle locale (commune ou EPCI).

## 2 Présentation de l'organisme d'accueil et du maître de stage

### 2.1 Qu'est-ce que la DRIEAT ?

La DRIEAT (Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports) est un service déconcentré de l'Etat, qui met en oeuvre les politiques de l'Etat en matière de transports, de planification et d'aménagement durable, d'environnement, d'énergie et d'urbanisme, sous l'autorité du préfet de la région Île-de-France.

Ce service n'existe qu'en Île-de-France. En effet, dans les autres régions, les DREAL (Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement) (DEAL dans les départements d'outre-mer) recourent les missions de la DRIEAT, en matière de transport, d'aménagement, d'environnement, d'énergie et de gestion des risques et nuisances (tout en incluant les missions en matière de logement à la charge de la DRIHL en Île-de-France).

La DRIEAT est issue de la fusion en 2021 des services de l'Etat suivants :

1. la direction régionale et interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement (DRIEA)
2. et la direction régionale et interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE).

En effet, selon Emmanuelle Gay, directrice régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports, "la séparation entre les compétences environnement et aménagement transport n'est plus adaptée à la mise en oeuvre optimale de nos politiques publiques". Cet argument permet plus généralement de comprendre que les nombreux remaniements de services publics qu'on peut observer au fil du temps sont souvent effectués dans le but de renforcer l'efficacité de l'action publique. Ces réorganisations sont parfois complexes à mettre en oeuvre.

Au niveau du lien avec les échelons plus territoriaux, la DRIEAT, outre la direction régionale, est constituée en unités départementales présentes dans les 8 départements d'Île-de-France. Ces unités départementales ont les compétences de gestion de l'eau, des risques industriels, ainsi que celle de l'aménagement pour les unités situées en petite couronne. En grande couronne, les unités départementales travaillent avec les DDT (Directions départementales des territoires) présentes dans les départements de grande couronne (Essonne, Seine-et-Marne, Val-d'Oise, Yvelines).

La DRIEAT compte au total 2200 employés [1].

À noter également que la DiRIF (Direction des routes Île-de-France) est rattachée à la DRIEAT depuis 2010. Elle est chargée de l'exploitation et de l'entretien des routes nationales et des autoroutes non concédées d'Île-de-France. Elle est également chargée de la sécurité de 25 tunnels de plus de 300 mètres soumis aux normes de sécurité "Mont-Blanc".

### 2.2 Pourquoi je fais un stage dans une administration publique ?

J'ai choisi l'École des Ponts, car j'ai souhaité agir directement en faveur de la transition écologique, qui nous demande des changements et adaptations de nos modes de vie et implique

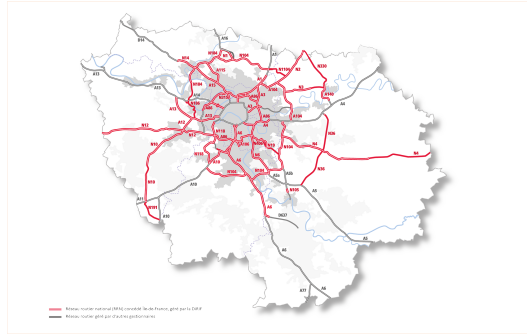


FIGURE 1 – Réseau exploité par la DIRIF. Source : DIRIF

de profonds changements socio-économiques. Ces changements prennent deux formes :

1. d'une part, des innovations techniques sont nécessaires pour contribuer à des modèles de société plus résilients et s'adapter aux changements tout en maintenant de bonnes conditions de vie ;
2. d'autre part, beaucoup de débats sont suscités, tant sur les mesures à prendre (par exemple, faut-il limiter l'avion ?) que sur le mode d'action (contrainte ou incitation).

Face à cette double dimension, l'État tient un rôle essentiel : concerter la myriade d'acteurs impliqués dans ces changements (citoyens, entreprises, collectivités, associations, autres États, etc.), et donc faire ressortir de la manière la plus exhaustive possible les différents enjeux (économiques, sociaux, environnementaux et juridiques) d'un sujet. Ces enjeux permettront ensuite de formuler différentes propositions d'actions publiques, en cherchant à équilibrer leur prise en compte.

Il est en effet nécessaire de comprendre au mieux les points de vue des différents acteurs afin, d'une part, de proposer des solutions politiques adaptées et d'encourager les bons outils techniques (financement, programmes de recherche), et, d'autre part, de chercher à disposer d'une bonne acceptabilité sociale des projets :

1. en cherchant la transparence des données et des modèles utilisés permettant d'établir un lien de confiance avec la société (par exemple publication de rapports, enjeu de publication des codes informatiques comme celui du modèle Modus qui ne l'est pas encore à ce jour). Cela se fait dans le cadre de la transparence de la décision publique, assurée notamment par la CADA (commission d'accès aux documents administratifs) ;
2. cette transparence contribue à ce que les citoyens puissent s'approprier de manière pédagogique et claire les enjeux du débat et les choix politiques et techniques effectués. Cela permet alors de mieux prendre en compte les retours des différents acteurs et donc d'ouvrir une réflexion collective allant dans le sens de l'intérêt général.

L'Etat, en partenariat avec les collectivités locales, joue donc un rôle stratégique pour impulser ces transformations. C'est pourquoi j'ai souhaité effectuer ce stage en administration, afin de découvrir cet univers. Et, pour cette même raison, j'ai choisi de m'orienter vers la fonction publique, afin de participer à la définition et à la mise en oeuvre de stratégies de politiques publiques ainsi qu'à des missions d'encadrement.

Ce stage revêt donc une dimension plurielle :

1. vocation technique liée à la mise en forme et à l'interprétation des résultats du modèle de déplacement MODUS, en lien avec les compétences en modélisation que j'ai pu développer durant ma formation à l'ENS et comme élève-ingénieur de l'Ecole des Ponts ;
  2. mais aussi une transition entre cette formation technique et l'entrée au corps des IPEF où je serai amené à utiliser ces outils techniques pour participer à la conception, à la mise en oeuvre et à l'évaluation des politiques publiques en faveur de la transition écologique, ainsi qu'à exercer des fonctions de management et d'animation d'équipes.
- [2]

## 2.3 Mon stage et le service dans lequel il s'inscrit

J'effectue ce stage dans le service connaissance et développement durable (SCDD) de la DRIEAT, et plus précisément dans le département de modélisation et des études sur la mobilité (DMEM). Il s'agit d'un département d'appui aux politiques publiques en matière de transport à l'échelle de l'Île-de-France, qui notamment réalise et compare différents scénarios de mobilité sur différents horizons, grâce au modèle régional de déplacements Modus (calage en 2012, référence en 2017, prospective en 2025, 2030 et 2035). Chaque scénario est associé à des hypothèses sur les évolutions des comportements de mobilité (télétravail, démotorisation, covoiturage, pratique du vélo), et démographiques (projection population et emploi), et de projets de transport à ces horizons. Ces différents scénarios permettent de mesurer la sensibilité des résultats aux principales hypothèses dimensionnantes, et ainsi de définir des priorités de projets ou de politiques publiques. Le département réalise également des contre-expertises sur les études de trafic pour porter appui à l'évaluation environnementale des dossiers de projets, et apporte un appui à l'évaluation technique en termes de circulation et d'ingénierie du trafic sur les projets touchant au réseau routier national, ce qui entre dans le cadre des missions des DREAL dans les autres régions.

Un organigramme de la DRIEAT pourra être trouvé au lien suivant : [lien](#).

### 2.3.1 Le DMEM

Au sein du SCDD, le DMEM "inscrit ses activités dans deux champs majeurs : la modélisation des déplacements et les études. En particulier, le DMEM assure le développement et la maintenance du modèle régional multimodal de déplacements MODUS. Le DMEM porte également, de manière partenariale et en appui du modèle MODUS, des études sur l'observation et l'analyse de la mobilité des voyageurs et des marchandises, la production d'études opérationnelles de trafics, la formulation d'avis sur des études de déplacements et la réalisation d'évaluations socio-économiques et environnementales." (source : DRIEAT). Il est composé de 15 agents.

## 2.4 Encadrement et sujet du stage

Durant ce stage, je suis encadré par :

1. Luc Charansonney, chef du département DMEM ;

## 2. Guillaume Tremblin, chef adjoint du département DMEM.

Lors de l'entretien de recrutement, il m'a été proposé différents sujets susceptibles de capter mon intérêt. Après discussions, il m'a été proposé de traiter le sujet qui fait l'objet du présent stage. L'objectif est de "territorialiser" les résultats du modèle Modus, à savoir pouvoir, à partir des calculs effectués par le modèle, renvoyer des indicateurs d'intérêt à l'échelle d'un territoire donné (EPCI, commune, département). En effet, à ce jour, comme on peut le constater dans [3], les résultats du modèle Modus sont essentiellement présentés à deux échelles, agrégée sous forme d'un nombre à l'échelle de l'Île-de-France, ou sous forme d'un indicateur à l'échelle de chaque zone Modus ou de chaque tronçon de route. Il n'y a pas à ce jour de résultat renvoyé à l'échelle intermédiaire d'une commune ou d'un EPCI donné, même si les calculs déjà faits par le modèle le permettraient à quelques approximations près. Cela est précisément l'objectif de mon stage.

Les enjeux sont donc les suivants :

1. Enjeu de périmètre : recollement entre le zonage du modèle Modus (prévisionnel, en cours de validation) et le zonage administratif (commune, EPT/EPCI, département) ;
2. Enjeu de temporalité : représentation statique (cartographique, statistique) d'un phénomène dynamique (la mobilité) ;
3. Enjeu technique : stockage des résultats en base de données ;
4. Enjeu de clarté : intelligibilité et exploitation des indicateurs utilisés aux fins des politiques publiques des territoires.

## 3 Modus : le modèle prédictif des déplacements utilisé par le DMEM

Le modèle Modus est un modèle prédictif de déplacements à l'échelle de l'Île-de-France. Il est multimodal, c'est-à-dire que les principaux modes de déplacement quotidiens à l'échelle de l'Île-de-France y sont représentés (véhicule particulier, transports collectifs, vélo, modes doux). Il réalise une simulation sur un jour moyen de semaine en périodes de pointe de matin (6h-10h) et du soir (16h-20h).

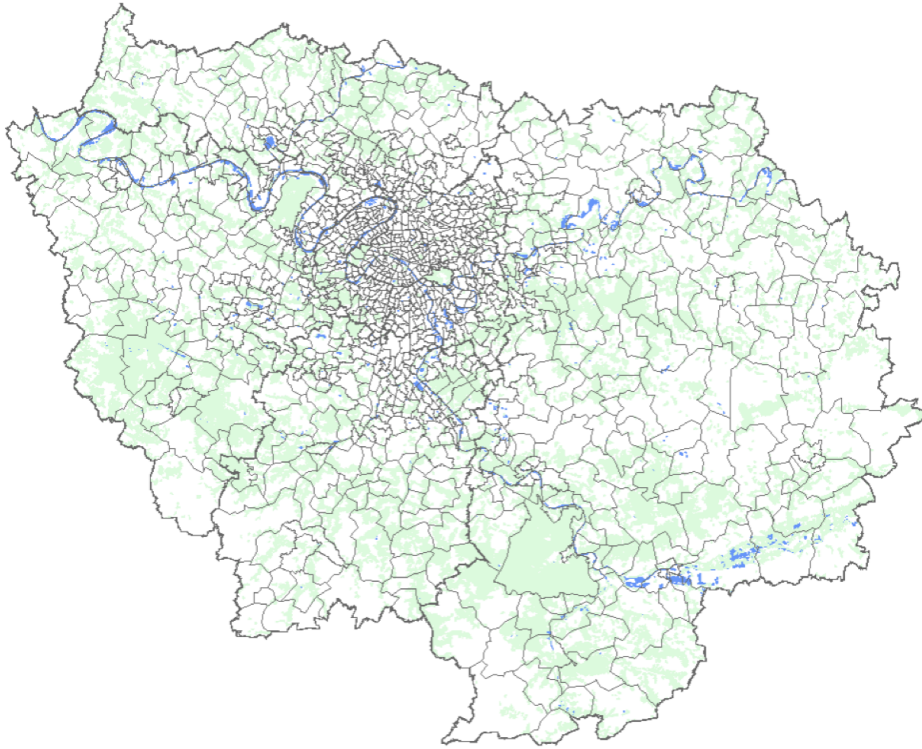
Ce modèle est dit agrégé : les déplacements des habitants d'Île-de-France sont regroupés au sein de plusieurs segments de demande (population active, actifs hautement qualifiés, écoliers de plus de 5 ans, etc.), sans qu'il soit possible d'identifier chacun d'eux, et ce contrairement à d'autres modèles dits désagrégés, tels que le modèle Antonin d'IdFM (Île-de-France Mobilités), où chaque individu est défini par des paramètres individuels pour lequel le choix de chaque mode suit une loi de probabilité.

Il fait partie de la famille classique des modèles à quatre étapes, très utilisés dans le domaine de la modélisation des déplacements, dont le fonctionnement est le suivant :

1. génération : à partir de données exogènes du modèle P+E à différents horizons, le modèle renvoie les émissions et attractions pour chaque zone du territoire étudié pour chaque segment de demande.
2. distribution : on génère les flux de déplacement origine-destination sur chaque segment en faisant correspondre une émission à une attraction.
3. choix modal : en fonction des coûts et des temps de déplacement et du segment de demande de chaque usager, on répartit les déplacements calculés dans l'étape de distribution entre chaque mode.
4. affectation : elle consiste à rechercher les meilleurs itinéraires sur le réseau routier et de transport en commun et à répartir dessus les déplacements issus du choix modal. À l'issue de cette étape, on peut donc visualiser la charge des réseaux routiers et de transports collectifs. La congestion influant sur les temps de parcours, notamment sur le réseau routier, on peut actualiser alors les temps de parcours en voiture et faire une opération de bouclage pour mettre à jour ces temps. Dans Modus, cette étape d'affectation est faite en utilisant le logiciel Visum de PTV [4].

### 3.1 Le zonage Modus

Afin de réaliser ses calculs en un temps raisonnable et de disposer de données statistiquement fiables, le modèle Modus fonctionne sous la forme d'un zonage qui est composé de zones regroupant plusieurs IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) de l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques). Ainsi, le zonage MODUS représente au total 1339 zones issues de l'agrégation des 5259 IRIS de l'Île-de-France et de l'identification de plusieurs points d'entrées/sorties du territoire (aéroports, cordons routiers



*Figure 7 : zonage de la région Île-de-France dans MODUS*

FIGURE 2 – Zonage utilisé pour les calculs du modèle MODUS. Source : DRIEAT

et gares ferroviaires). Ce zonage permet d’avoir une matrice OD (origine-destinations) de taille raisonnable en termes de calcul, avec près de 1.8 millions d’OD.

Ces zones ne sont pas forcément faciles à interpréter pour les acteurs des territoires car elles existent pour des raisons techniques et ne recourent pas toujours les limites communales dans les territoires peu denses. De plus, bien qu’il n’y ait que 1 276 communes en Île-de-France, beaucoup d’entre elles (comme Paris) vont avoir des caractéristiques de mobilité hétérogènes au sein de leur territoire ainsi que des déplacements intra-territoriaux qu’il conviendra d’analyser. Enfin, le zonage peut manquer de précision en grande couronne, ce qui peut poser des difficultés pour certaines études (par exemple pour étudier le potentiel de report vélo en grande couronne, les temps de parcours ne sont pas bien évalués si les zones sont trop larges), et son utilisation tend à sous-estimer les déplacements de courte distance effectués par la marche. Cependant, il faut retenir que cette sous-estimation n’est pas un enjeu prioritaire car ces déplacements ont lieu au sein d’une zone et que Modus est avant tout utilisé pour modéliser l’impact des projets de transport sur les déplacements entre les zones, donc de moyenne et de longue distance.

De plus, les indicateurs de sortie de Modus peuvent être parfois obscurs en terme d’interprétation pour les acteurs des territoires.

## 3.2 L'utilisation des résultats du modèle Modus

Outre l'utilisation faite pour la rédaction de rapports prospectifs sur l'impact du Grand Paris Express, le modèle Modus permet d'obtenir des résultats qui seront utiles pour les différents acteurs des territoires.

Au sein des UD/DDT, le but est de recueillir les besoins et de fournir des avis aux unités de l'Etat dans les départements afin de décider de politiques de mobilité adaptées, que ce soit vis-à-vis de la situation actuelle du trafic ou de celle découlant de projets d'aménagement et de transport. L'idée serait donc d'aider les UD/DDT à appréhender la situation future en termes de transport avec l'émergence des projets tels que le Grand Paris Express.

Pour produire les avis pour agrément, le DMEM a fourni un document aux UD/DDT avec des outils qui n'ont pas vocation à remplacer une étude de trafic mais qui sont disponibles facilement en ligne et permettent de se faire une idée de la mobilité sur un territoire dans la situation actuelle et après un projet [6].

Le CD 92 (conseil départemental des Hauts-de-Seine) a souhaité obtenir des résultats à son échelle du modèle de déplacement Modus dans le cadre de la refonte de son propre modèle de déplacements. Cela entre notamment dans le cadre du prolongement envisagé de la ligne 18 du Grand Paris Express dans un second temps (au-delà de 2030, après la construction de la section entre Orly et Versailles), cette fois entre Versailles et Nanterre.

Par le passé, la communication de ce type de données s'est surtout faite avec le monde de la recherche qui contribue à l'amélioration du modèle.

Le département a également contribué à une étude commandée par l'Etat à l'IGF (Inspection générale des finances) et à l'IGEDD (inspection générale de l'environnement et du développement durable) portant sur le financement d'IdFM dans le futur, en étudiant notamment les scénarios prospectifs de fréquentation future des lignes du réseau [5]. Il a notamment contribué aux scénarios prospectifs de fréquentation des lignes ferrées du réseau d'Île-de-France. La fréquentation influe en effet sur le nombre de pass Navigo et de tickets vendus, ce qui apporte un éclairage sur la part des recettes d'IDFM provenant des usagers, et donc sur la part résiduelle que les acteurs publics tels que l'Etat devront compenser.

## 3.3 Les enjeux du modèle Modus

En ce qui concerne les modèles quantitatifs (tels que MODUS), la transparence et la clarté des explications techniques du modèle sont essentielles, car les outils utilisés sont avancés mathématiquement et que le modèle ne représente pas tous les phénomènes (par exemple MODUS est un modèle statique et ne tient pas compte de certains phénomènes dynamiques tels que la remontée de la congestion d'un carrefour à un autre. Il ne représente également que les heures de pointe dans un jour de semaine "moyen". Il s'agit donc surtout d'un outil de planification de nouvelles infrastructures plutôt que d'estimation de trafic routier au quotidien).

Le modèle Modus est en constante amélioration, et les évolutions à venir sont les suivantes :

1. Passage du langage de programmation propriétaire SAS au langage libre Python. Actuellement, les deux modèles sont en cours de test à la DRIEAT ;

2. Simulation dynamique et mésoscopique du trafic routier possible avec l'augmentation de la puissance de calcul. Les horaires d'entrée et de sortie de chaque véhicule dans un tronçon donné seront ajoutés au modèle, ainsi si le tronçon est saturé à un moment donné, les véhicules ne pourront plus passer et devront rester sur le tronçon d'avant ou chercher un autre itinéraire. Alors qu'actuellement, dans le modèle Modus macroscopique, les véhicules peuvent passer même si le tronçon est à pleine capacité au seul prix d'une réduction de la vitesse de parcours du tronçon saturé. Cela permettra donc de mieux représenter la congestion du trafic et les remontées de file. Le logiciel Aimsun est utilisé afin de réaliser cette implémentation ;
3. Intégration de nouvelles fonctionnalités et de nouveaux comportements de mobilité post-Covid qui ne sont pas pris en compte dans la version SAS du code (covoiturage, télétravail, zones à faibles émissions, coût d'utilisation de la voiture en augmentation, démotorisation observée dans le coeur d'agglomération le seront dans la version Python du code). D'autres limites existent (pas de recherche d'itinéraire pour les déplacements à vélo, donc pas de prise en compte des pistes cyclables dans l'attractivité de ce mode de déplacement).

## 4 L'enjeu de la territorialisation des résultats

### 4.1 L'intérêt de regarder les sorties intermédiaires de Modus pour quantifier le report modal

Avant de réaliser l'affectation des déplacements sur les réseaux de transport, le modèle Modus agrège l'ensemble des déplacements en une seule matrice par mode et par période pour des raisons de stockage mémoire et de calage et report de calage (réajustement des matrices brutes du choix modal sur les comptages observés), ce qui signifie qu'on perd la trace du **segment** auquel appartenait chaque déplacement (par exemple, le motif de déplacement et la catégorie socio-professionnelle de chaque personne interviennent dans le choix du mode de transport, mais ne sont pas stockés lors de l'affectation sur les réseaux). Or, ces informations sont importantes pour affiner la connaissance de la mobilité dans les territoires, et donc identifier des leviers d'action :

1. certains motifs de déplacements (études, domicile-travail) sont plus facilement reportables sur les transports en commun que d'autres (achats, accompagnement) ;
2. il peut y avoir des boucles de déplacement réalisées par un même individu, qui va choisir la plupart du temps le même mode de transport pour chacun de ses déplacements (cf [7]) (ce qui explique une partie des courts trajets en voiture qui ne sont pas facilement reportables sur les modes doux ou les TC, une solution pouvant être de compléter l'offre de transport par de l'autopartage ou du transport à la demande sur ce type de trajets)
3. les CSP (catégories socio-professionnelles) plus élevées ont en général une valeur du temps plus élevée que des CSP plus modestes, et sont plus enclines à prendre leur voiture. Par ailleurs, certaines professions et activités ont besoin d'un véhicule de fonction pour transporter des outils ou des personnes et ne sont donc pas reportables sur les transports en commun
4. l'âge intervient également car les populations plus âgées sont en général moins captives des transports en commun (elles ont un permis et une voiture) et sont moins enclines à prendre des modes doux comme la marche ou le vélo (pour des populations âgées).

Ces sorties intermédiaires ont été documentées dans le cadre du passage de Modus SAS à Modus Python.

### 4.2 Choisir un bon indicateur à la bonne échelle

Le choix d'un bon indicateur à la bonne échelle est également important. En effet, selon la taille du territoire, le nombre de déplacements simulés pour certains motifs de déplacement peut-être tellement faibles qu'il n'y aura pas lieu de produire les mêmes statistiques à toutes les échelles. Ainsi, en dehors du territoire de la MGP, on privilégie des statistiques selon l'EPCI d'origine ou de destination, mais on évite les statistiques à la commune. En revanche, dans la MGP, on peut se permettre de descendre à l'échelle communale étant donnée la densité de population et d'emploi.

L'idée est donc de trouver des indicateurs représentatifs à l'échelle d'un EPCI qui ne sont ni trop agrégés, ni trop désagrégés.

## 5 Résultats obtenus

### 5.1 L'agrégation à l'échelle des EPCI : de la nécessité de recalculer les étapes de génération et de choix modal

Le modèle Modus produit des résultats à l'échelle des zones Modus, et on veut ces mêmes indicateurs à l'échelle des EPCI. Pour agréger les calculs, il convient donc de rassembler les résultats obtenus à l'échelle de chaque zone, notamment par des sommes ou des moyennes pondérées. Pour cela, il faut que le zonage Modus soit compatible avec le zonage des EPCI. Cependant, si on cherche à faire le recoupement, il existe des zones Modus dites **supracommunales** regroupant ensemble plusieurs communes. Ces zones sont notamment présentes en grande couronne et sont susceptibles d'être à cheval sur plusieurs EPCI, mélangeant des données propres à des EPCI différents. Grâce à un traitement sur QGIS, j'ai pu identifier, en rouge sur la carte 3, les zones Modus à cheval sur plusieurs EPCI. Pour cela, comme les zones Modus n'étaient pas toujours superposées aux frontières des EPCI quand elles devaient l'être, j'ai retenu une marge d'erreur de 10% : ainsi, sont considérés comme problématiques les zones Modus telles qu'il n'existe pas d'EPCI contenant à lui seul au moins 90% de la zone Modus. Avec cette méthodologie, 78 zones Modus ont été identifiées comme problématiques. Une analyse par zone Modus de Guillaume a montré que, parmi ces zones, une seule était en fait communale (la zone 116, au sud de la Seine-et-Marne), et ne devait pas être retenue comme problématique.

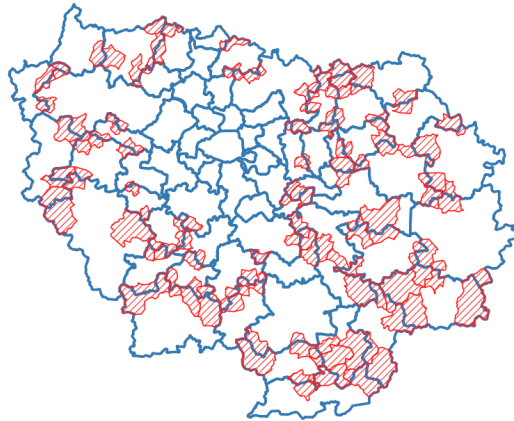


FIGURE 3 – Carte des EPCI, les zones Modus à cheval sur plusieurs EPCI sont hachurées en rouge.

On cherche alors à identifier les EPCI qui sont concernés par ce problème de zone trop large, et ceux pour lesquels on peut directement effectuer le calcul par regroupement de zones Modus compatibles avec le zonage. Ainsi, les 12 EPT de la MGP, et les 5 EPCI suivants sont compatibles intégralement avec notre zonage :

1. CA Val d'Yerres - Val de Seine ;
2. CA Versailles Grand-Parc ;

3. CA Saint-Germain Boucle de Seine ;
4. CA Val-Paris
5. CC de la Vallée de l'Oise et des Trois Forêts.

Cela fait 17 EPCI compatibles sur 64. Pour les autres EPCI, on peut aboutir à des résultats approximatifs en attribuant les zones Modus à cheval à l'EPCI dans lequel se situe son centroïde (au sens de Modus, donc barycentre pondéré de la population et des emplois).

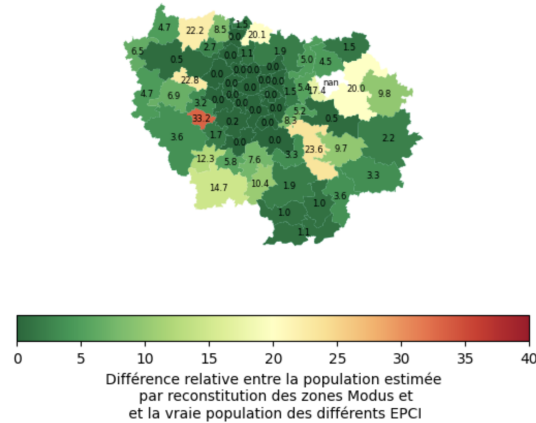


FIGURE 4 – Écart relatif absolu de population entre celle estimée par la reconstitution des EPCI suivant la méthode présentée ci-dessus et la population réelle.

On constate des écarts allant jusqu'à 33% pour l'EPCI du pays de Limours.<sup>1</sup>

L'approximation par les centroïdes semble trop forte comme on le voit sur la carte 4. Il faudra donc coder le recalcul de la génération à l'échelle de la commune pour les zones supracommunales.

## 5.2 Définition des indicateurs pertinents et explications

Nous avons choisi des indicateurs simples pour garantir leur compréhension par le grand public. Ces indicateurs se répartissent en deux catégories :

1. les indicateurs à définir pour chaque EPCI d'Île-de-France et qu'on affichera par un nuage de points. Cette étude permet de se faire une idée de la mobilité à l'échelle de l'Île-de-France ;
2. les indicateurs qui, pour un EPCI fixé au début de l'étude, seront représentés, par exemple sous forme de diagrammes en barres en 2012 et 2030, ou sous forme de carte où on s'intéresse à des déplacements dont cet EPCI est l'origine ou la destination.
3. les diagrammes matriciels qui permettront de visualiser les parts modales pour un motif fixé, ou, réciproquement, les parts de chaque motif pour un mode fixé.

<sup>1</sup> rapport de la valeur absolue de l'écart entre la population estimée et la vraie population sur la vraie population.

## 5.3 Quelques cartes et indicateurs obtenus et explications

Après implémentation de la procédure technique d'éclatement des EPCI, j'ai pu coder les indicateurs dont j'avais besoin sur Python. Après un certain temps passé à coder des algorithmes me permettant d'obtenir les indicateurs souhaités et à comprendre le fonctionnement des bibliothèques qui me seraient utiles, j'ai pu aboutir aux résultats suivants.

Dans ce qui suit, le scénario 2012 est calibré sur l'EGT 2010, et le scénario prospectif 2030 se base sur des modélisations P+E issues de données externes. Les principaux projets de transport prévus pour 2030 (par exemple le Grand Paris Express) sont implémentés. La ligne 1 est supposée prolongée jusqu'à Val-de-Fontenay, ce qui ne sera probablement pas le cas à l'horizon 2030. Les évolutions post-Covid (télétravail, démotorisation) ne sont pas prises en hypothèse des scénarios comparés.

### 5.3.1 La répartition des déplacements par motif

Pour commencer, j'ai souhaité m'intéresser aux résultats fournis à l'issue de l'étape de distribution. J'ai donc représenté des indicateurs donnant les parts de chaque motif selon que l'EPCI est origine ou destination des déplacements (5 et 6). Un premier indicateur parlant, et où on reconnaît bien les EPCI disposant d'universités, est la part d'étudiants d'origine ou à destination d'un EPCI donné.

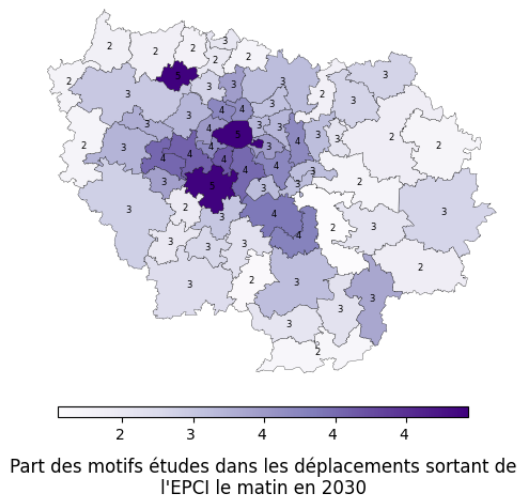


FIGURE 5

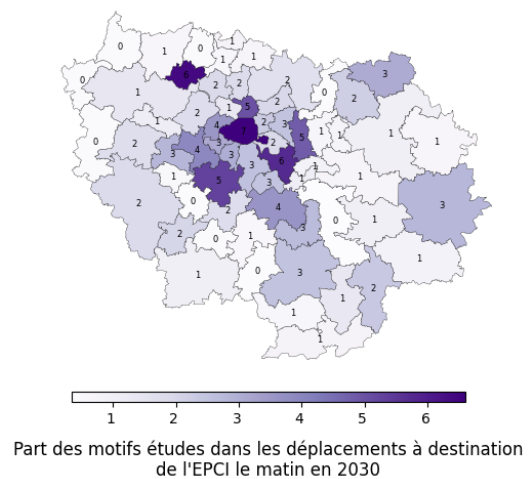


FIGURE 6

La première carte donne ainsi une idée de la répartition des étudiants et la deuxième de celle des universités et de leur poids relatif par rapport aux autres segments de population. On remarque que, quand l'EPCI est la destination des déplacements, l'amplitude des valeurs des proportions est plus large qu'en le choisissant comme origine des déplacements. J'ai également fait d'autres cartes pour d'autres motifs, on pouvait mettre en évidence la prééminence de l'ouest parisien dans les lieux d'origine des déplacements de personnes hautement qualifiées.

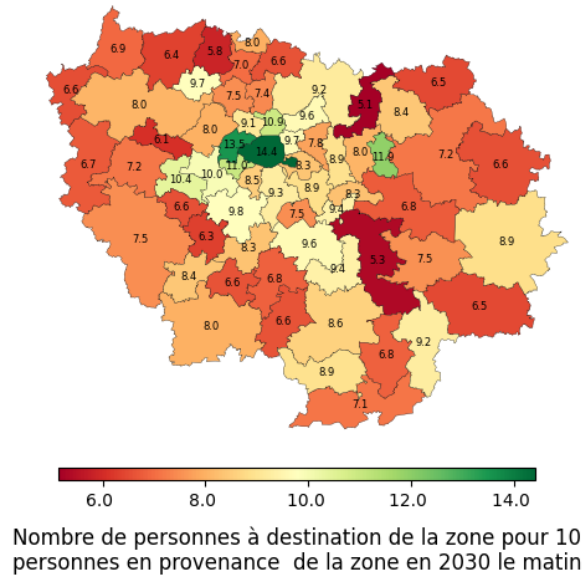


FIGURE 7

La carte 7 montre le nombre de déplacements à destination d'un territoire donné le matin pour 10 déplacements provenant de ce même territoire. On peut ainsi quantifier à quel point un EPCI donné est plutôt émetteur ou récepteur le matin, selon qu'il concentre plutôt les habitants ou les emplois. Sur la carte ci-dessus, on constate donc qu'en 2030, mis à part Paris, les EPCI attracteurs sont situés en proche banlieue parisienne.

J'ai pu constater sur une autre carte que c'est le dynamisme des territoires les plus attractifs qui augmente encore entre 2012 et 2030, alors que les territoires moins dynamiques voient leur dynamisme se stabiliser voire diminuer.

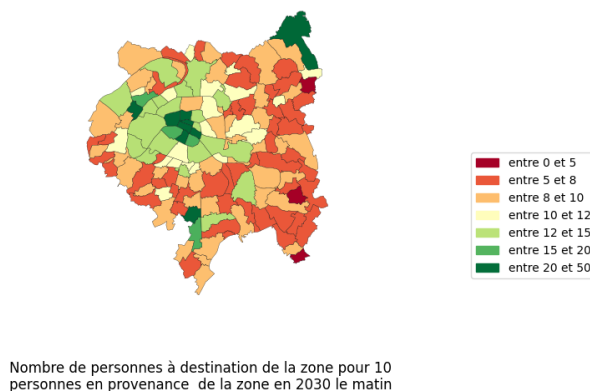


FIGURE 8

Si on regarde maintenant les choses à l'échelle de la Métropole du Grand Paris, on retrouve les pôles d'affaires traditionnels (centre d'affaires parisien, Rungis, Aéroport Charles-de-Gaulle), et les résultats correspondent donc à ce que donnerait le modèle P+E.

On peut, à partir de ces données, représenter l'évolution de la population présente sur les

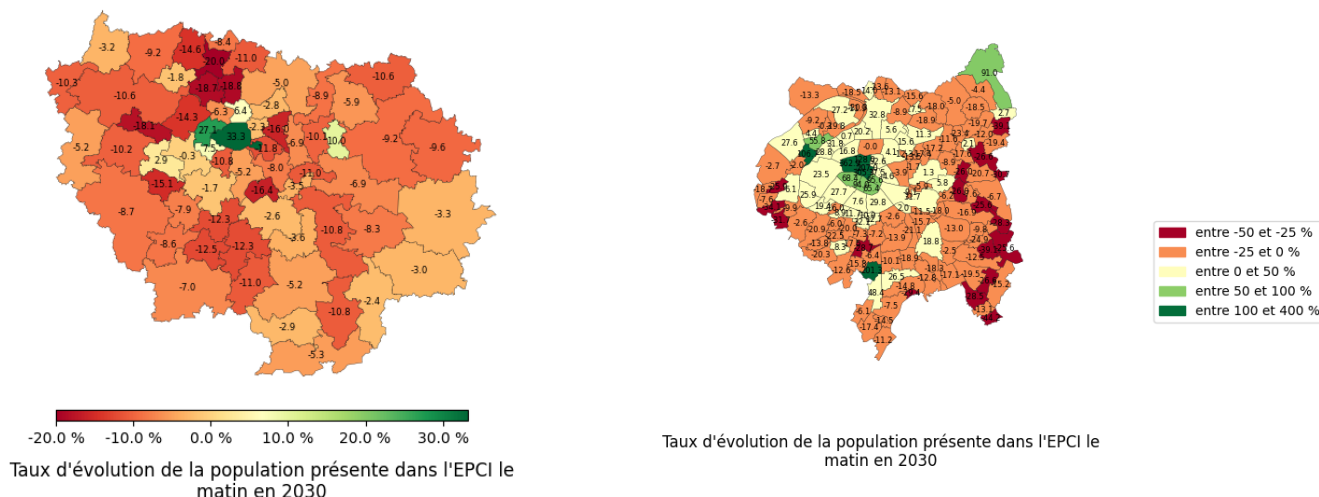


FIGURE 9

FIGURE 10

différentes zones entre le début et la fin de chaque période, sur les cartes 9 et 10.

### 5.3.2 La quantification du report modal entre les horizons

L'objectif des projets de transport en Île-de-France est souvent d'engendrer une diminution de la part modale de la voiture particulière au profit des modes doux, des transports en commun et du vélo. Sur de longues distances, le report modal ne se fera qu'au profit des transports en commun. On cherche donc à quantifier ce report. En prenant les EPCI et communes de la métropole du Grand Paris comme origine ou destination des déplacements, on peut aboutir aux cartes 11 et 12 :

En termes de mode :

1. On remarque une évolution marquée dans l'Est parisien et une quasi-stabilité de la part modale des transports en commun sur Paris. Il semble y avoir un effet Grand Paris Express avec un gain de 1 à 2 % pour les EPCI concernés.
2. La Seine-Saint-Denis tire profit de sa desserte par le Grand Paris Express.
3. La voiture particulière subit également une baisse marquée, surtout dans l'aire de desserte du Grand Paris Express, mais reste stable voire progresse dans des EPCI de grande couronne.
4. La part modale du vélo est quasi stable.
5. Quand aux modes doux, il y a des évolutions contrastées : ils diminuent sensiblement (jusqu'à -6%) dans certaines communes desservies par le Grand Paris Express, diminuent légèrement à Paris, mais augmentent dans certaines communes de banlieue parisienne.

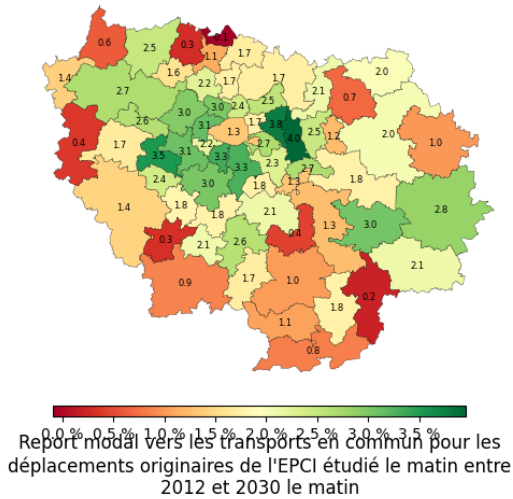


FIGURE 11

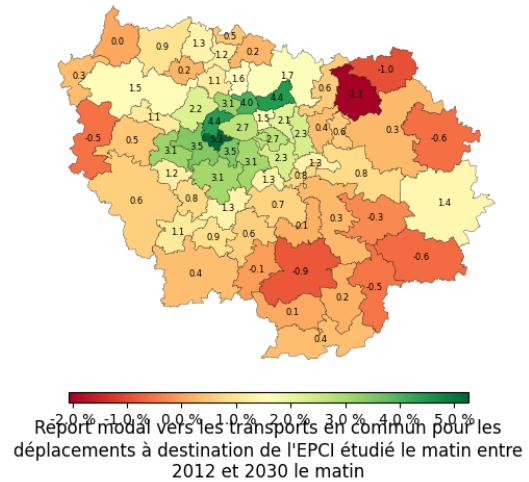


FIGURE 12

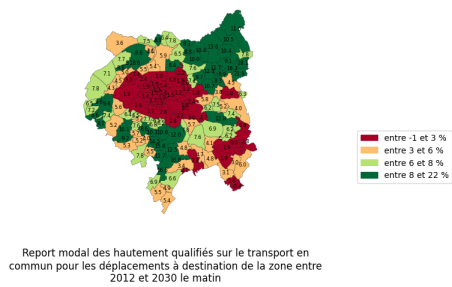


FIGURE 13

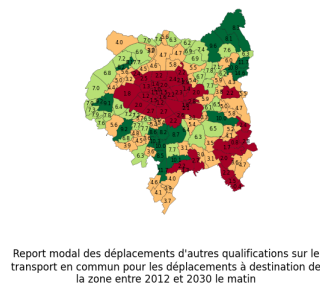


FIGURE 14

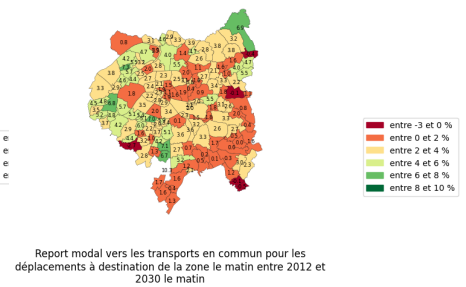


FIGURE 15

On constate que les disparités de report modal entre les territoires sont plus importantes quand on s'intéresse à ce territoire comme destination des déplacements (donc abritant les emplois) que comme origine, et les disparités liés à la nouvelle desserte par le Grand Paris Express sont plus marquées. En effet, des emplois bien desservis en transport en commun laissent aux habitants des territoires la possibilité de prendre leur voiture pour prendre ensuite les transports en commun pour se rendre au travail, alors que dans le cas contraire les habitants seraient obligés de prendre leur voiture pour finir leur trajet alors qu'ils n'en disposent pas en dehors de chez eux : ils prendraient donc leur voiture sur tout le trajet.

Si on s'intéresse au report modal sur différents segments, on constate que l'effet est le plus marqué en considérant les déplacements associés au travail (domicile-travail et professionnels) des personnes hautement qualifiées (puis ceux liés aux autres qualifications), regarder 13, 14 et 15. Ce sont donc les déplacements qui seront le mieux reportés par les projets tels que le Grand Paris Express, comme on peut le voir sur les cartes.

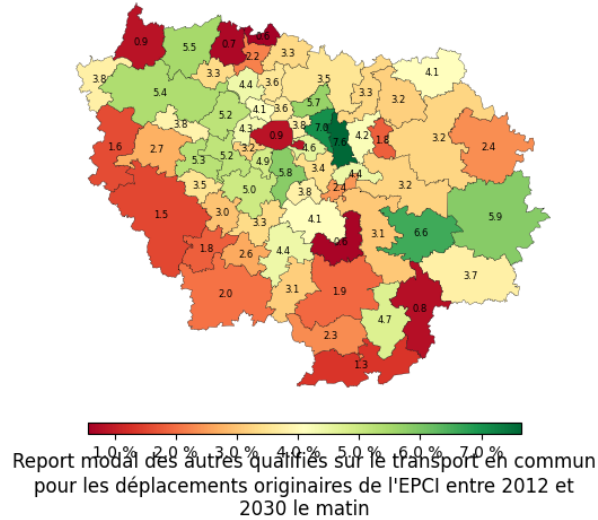


FIGURE 16

## 5.4 A l'échelle d'un EPCI ou d'une commune : l'exemple de Vincennes

Notre code nous permet également de visualiser des résultats à l'échelle d'un EPCI ou d'une commune. J'ai choisi de m'intéresser au cas de Vincennes car c'est la commune où sont situés les bureaux du service de la DRIEAT où je travaille.

### 5.4.1 Où vont les habitants de Vincennes le matin ?

Ainsi, seuls 33% des déplacements originaires de Vincennes restent dans la même ville le matin. Parmi les destinations, Montreuil et le 12e arrondissement de Paris sont les plus prisées (avec 5% pour chacune de ces villes).

### 5.4.2 Comment évoluent les temps de parcours en transport en commun entre 2012 et 2030 ?

La figure 18 montre qu'au départ de Vincennes, les temps de parcours en transport en commun diminuent entre 2012 et 2030. On remarque notamment l'effet du prolongement de la ligne 14 au Sud, qui dessert des communes qui n'étaient desservies auparavant par aucun mode lourd. De plus, le temps de parcours en transport en commun diminue beaucoup au nord-est de la Seine-Saint-Denis. Cependant, on remarque une forte augmentation de ce temps à Clichy-sous-Bois. Après analyse, il se révèle qu'au sein de la commune de Clichy-sous-Bois, la zone du parc départemental est indiquée comme ayant un temps de parcours en transport en commun infini. Cela correspond probablement à un problème de connecteurs du modèle qui n'identifie aucun arrêt à moins de 800m de la zone. Le modèle ne génère cependant aucun déplacement en provenance ou à destination des parcs (attractions basées sur l'emploi et les établissements d'enseignement uniquement).

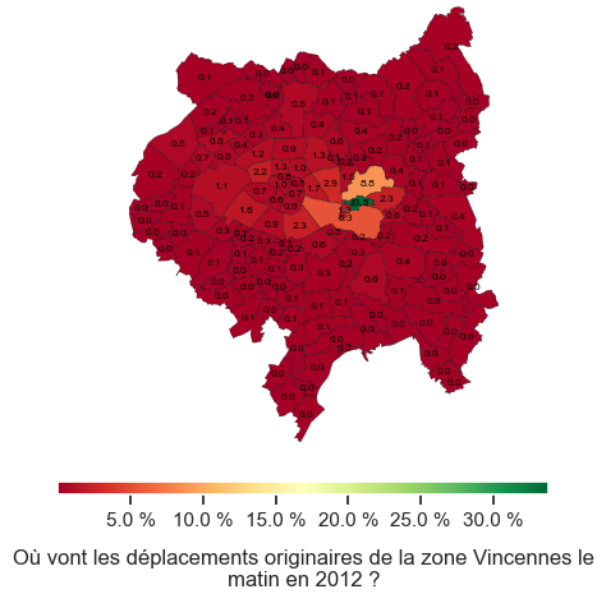


FIGURE 17

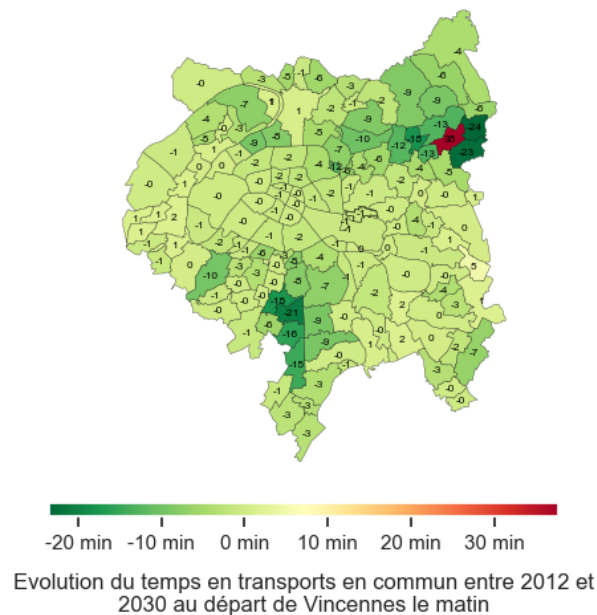


FIGURE 18

### 5.4.3 Quel sont les modes choisis pour chaque motif? Quels sont les motifs dominants pour un mode donné ?

J'ai également représenté des cartes de chaleur (ou heatmaps) 19 et qui montrent de manière visuelle les coefficients d'une matrice. Ces heatmaps montrent la répartition de la part modale associée à chaque segment de population et la part de chaque motif pour un

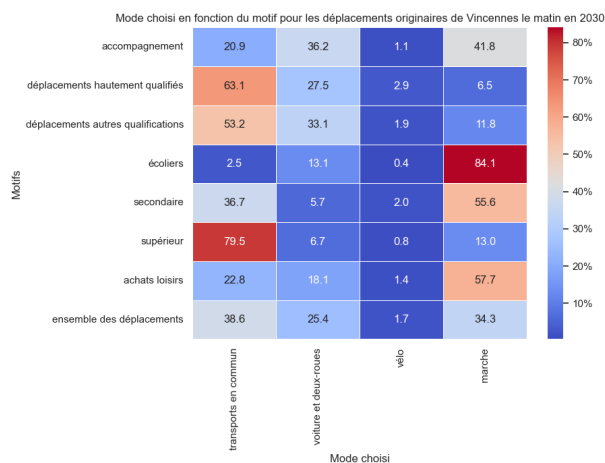


FIGURE 19 – Mode choisi en fonction du motif pour les déplacements originaires de Vincennes le matin en 2030.

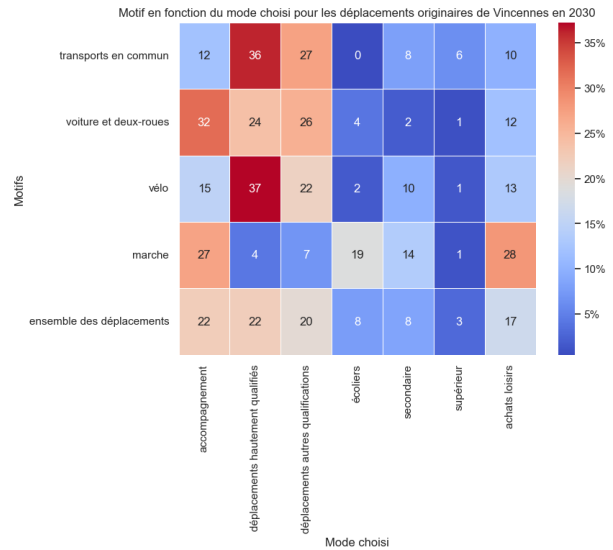


FIGURE 20 – Motif en fonction du mode choisi pour les déplacements originaires de Vincennes en 2030.

mode fixé. Cela m'a permis d'exhiber des dynamiques différentes en fonction des modes et des motifs. Ces heatmaps permettent de représenter de manière visuelle les coefficients d'une mat

Au cours de la recherche, des dynamiques de vélo distinctes sont apparues en fonction des territoires :

1. À Paris et en petite couronne, les motifs de déplacements hautement qualifiés sont responsables de plus d'un tiers des déplacements en PPM à vélo (36 % des utilisateurs).
2. Dans les EPCI 'l'Orée de la Brie' et 'Pays de Limours', 40 % des déplacements à vélo étaient réalisés pour un motif d'école secondaire.
3. Dans l'EPCI 'Grand Paris Seine et Oise', 30 % étaient réalisés par des élèves du secondaire et 26 % par des actifs appartenant à d'autres catégories de qualification.
4. Dans l'EPCI 'Val Briard', 39 % étaient réalisés par des élèves du secondaire.

En ce qui concerne les transports en commun :

1. Dans l'EPCI 'Grand Paris Seine et Oise', 44 % des déplacements étaient associés à des actifs d'autres catégories de qualification et 16 % étaient liés au motif école secondaire.
2. Dans l'EPCI 'Pays de Limours', 34 % étaient associés à d'autres catégories de qualification et 29 % en tant qu'élèves du secondaire.
3. Dans l'EPCI 'Pays Houdanais', 30 % appartenaient à d'autres catégories de qualification, 23 % étaient des élèves du secondaire et 26 % indiquaient des déplacements liés aux loisirs.

4. Dans l'EPCI 'Provenois', 45 % étaient des élèves du secondaire.
5. Dans l'EPCI 'Sausseron Impressioniste', 38 % appartenait à d'autres catégories de qualification et 30 % en tant qu'élèves du secondaire.
6. Dans l'EPCI 'Vexin Centre', 42 % appartenait à d'autres catégories de qualification et 26 % en tant qu'élèves du secondaire.

Pour rappel, dans ces résultats, la simulation du choix du vélo ne tient pas compte de l'infrastructure cyclable, ni de l'évolution constatée post-Covid.

Concernant la marche, le motif principal de déplacement à Vincennes est l'accompagnement à égalité avec les 'achats loisirs'.

Enfin, j'ai également pu représenter les déplacements selon des classes de portée d'amplitude 1km, comme on peut le voir ci-dessous. On représente les classes de portée jusqu'à un seuil de 95%, c'est-à-dire qu'on ne représente que les 95% de déplacements de portée minimum. On voit qu'il y a beaucoup de déplacements de faible portée (0 à 3 km) à Vincennes, ce qui est cohérent avec le caractère très urbain de cette ville et des alentours.

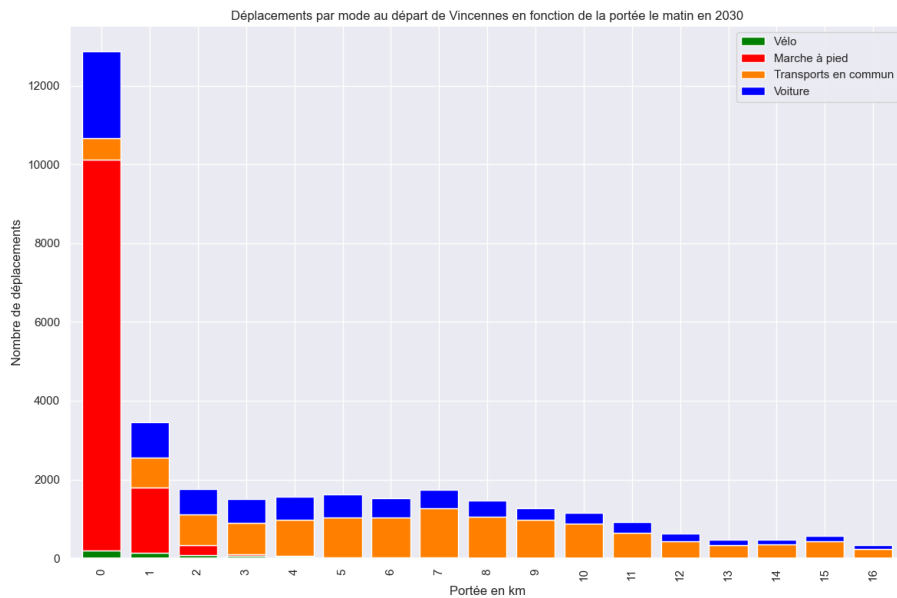


FIGURE 21 – Déplacements par mode au départ de Vincennes en fonction de la portée le matin en 2030.

#### 5.4.4 Comment quantifier l'efficacité de la desserte de transport en commun sur un territoire donné ?

On cherche à mesurer l'efficacité de la desserte en transports en commun d'un territoire. Cela pourrait être fait en rapportant l'ensemble des déplacements réalisés en transports en commun à l'ensemble des déplacements qui pourraient l'être par les infrastructures existantes.

En ce sens, les résultats précédents suggèrent ainsi que, pour mesurer l'efficacité de la desserte en transports en commun d'un territoire, on pourrait prendre comme indicateur

la proportion de déplacements utilisant ce mode associée aux déplacements vers les écoles secondaires.

L'analyse de cet indicateur serait que si la part des déplacements réalisés par des lycéens et collégiens est majoritaire dans l'utilisation des transports collectifs sur un territoire, c'est que l'offre n'est pas assez attractive pour les adultes bénéficiant d'un accès à la voiture. Néanmoins, cet indicateur peut être biaisé par une mauvaise desserte en transports collectifs des collèges et lycées.

On obtient alors les résultats suivants.

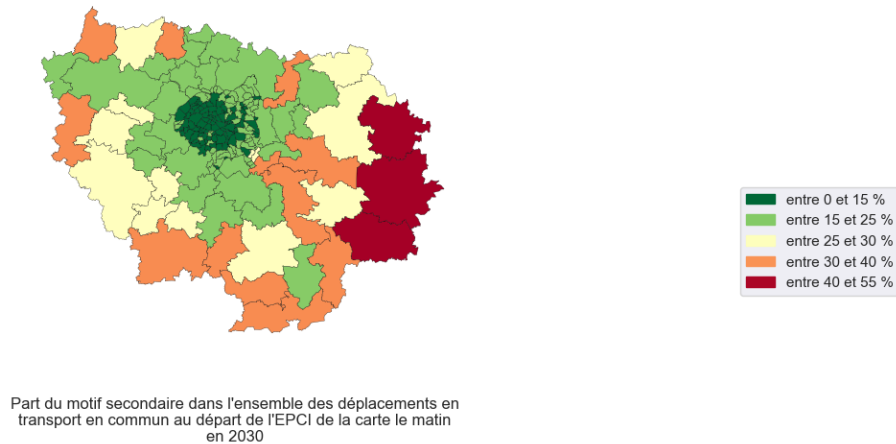


FIGURE 22

On constate alors des nuances entre différents EPCI, ceux de la Seine-et-Marne ont une desserte de transports en commun particulièrement centrée sur les élèves scolarisés dans le secondaire et ceux plus proches de Paris ont plus de motifs notamment liés aux déplacements domicile-travail. Cela serait à mettre en regard avec la proportion de déplacements à destination de Paris et sa petite couronne (pôle attracteur), qui diminue à mesure qu'on s'éloigne de Paris. En effet, la métropole du Grand Paris est très bien desservie en transport en commun, donc l'utilisateur pourra prendre sa voiture pour se rendre à la gare puis prendre le Transilien/RER. Ainsi, son déplacement pourra être comptabilisé comme un déplacement de mode principal transport en commun.

## 5.5 Extension : sensibilité au levier du télétravail, de la démotorisation, etc.

Dans les cartes présentées dans les sections 5.3 et 5.4, je montre des résultats à l'échelle de tous les EPCI d'Île-de-France ainsi qu'à celle de chaque commune de la métropole du Grand Paris. J'ai pu réaliser cette opération grâce à un traitement géomatique utilisant le logiciel QGIS composé de plusieurs opérations. Cependant, pour des raisons de temps de calcul et de clarté des cartes, il ne serait pas possible d'éclater simultanément toutes les zones Modus supracommunales en communes. Afin de généraliser les résultats obtenus ci-dessus et d'avoir la possibilité d'obtenir des résultats à l'échelle d'une commune de grande couronne, j'ai écrit un tutoriel à destination du DDGS afin que la suite de tâches à effectuer sur QGIS pour obtenir l'éclatement d'un EPCI en communes soit algorithmisée. Cela permettra donc à l'utilisateur de sélectionner la commune de son choix sans exiger de lui une maîtrise de QGIS, de la même manière que j'ai produit des notebooks Jupyter afin de permettre une manipulation plus aisée.

Il faudra définir des seuils statistiquement fiables afin de griser les indicateurs quand ils correspondent à un nombre de déplacements inférieur à ces seuils.

Durant mon stage, il n'a pas été possible de tester les résultats qu'aurait donné le module du télétravail. En effet, l'exécution du code Python du programme censé reproduire les résultats du module codé sous SAS a été tardive, ce qui a retardé leur obtention à la fin du stage. Il sera également question d'intégrer la démotorisation dans la version Python de Modus.

## 6 Conclusion et bilan personnel

Durant ce stage, j'ai pu, dans un premier temps, me familiariser avec les indicateurs usuels utilisés pour étudier les comportements de mobilité, notamment par la lecture de l'EGT (enquête globale transport) et du rapport consacré au fonctionnement de Modus. Ensuite, j'ai pu choisir des indicateurs qui me paraissaient pertinents pour avoir des résultats intéressants et interprétables pour les acteurs du territoire. Enfin, j'ai pu les représenter et interpréter les résultats. Les résultats produits ont été présentés le 31 août lors de la réunion de département du DMEM (département modélisation et études sur la mobilité) ainsi qu'à des agents du reste du service et du SPOT (service de politique des transports), dans le but de leur fournir un outil pour compléter leur connaissance des effets des projets de transport.

Ce stage m'a permis d'avoir une période d'immersion dans l'administration, et de m'intégrer dans une équipe. Il y a eu une étape très technique durant le stage (codage en Python), à l'issue de laquelle j'ai cherché à fournir un code clair et compréhensible pour le département afin qu'il puisse servir en héritage et être exécuté en lien avec des projets concrets. J'ai également dû veiller à représenter les indicateurs de manière adéquate et à définir des codes couleurs, bien que la multiplicité des indicateurs définis ne m'ait pas permis de représenter proprement tous les indicateurs voulus.

Ce stage a été pour moi une expérience très enrichissante sur le plan tant technique qu'humain, et je la recommande à ceux qui voudraient avoir une première expérience dans l'administration publique ! Il s'inscrit également dans mon projet professionnel puisque j'envisage pour le moment de rejoindre un service déconcentré à l'issue de ma formation, ce qui me permettra de contribuer à la mise en oeuvre des politiques publiques portées par l'Etat à l'échelon territorial tout en devant prendre en compte les réalités du terrain.

Je remercie Luc et Guillaume pour m'avoir accepté en stage à la DRIEAT, et d'avoir créé ensemble ce sujet. C'est la première fois que j'ai pu faire un stage en administration et je leur suis reconnaissant. Je les remercie pour leur encadrement de qualité et leur disponibilité. Je les remercie également pour leurs explications techniques poussées sur le fonctionnement du modèle ainsi que sur les conseils pour la rédaction.

## Références

- [1] DRIEAT. Plaquette de présentation. 2021. Disponible en ligne à l'adresse [https://www.hauts-de-seine.gouv.fr/contenu/telechargement/17567/114523/file/2021\\_plaquette\\_4\\_pages\\_driear-v12\\_num\\_cle25467c.pdf](https://www.hauts-de-seine.gouv.fr/contenu/telechargement/17567/114523/file/2021_plaquette_4_pages_driear-v12_num_cle25467c.pdf)
- [2] Légifrance. Décret n° 2009-1106 du 10 septembre 2009 portant statut particulier du corps des ingénieurs des ponts, des eaux et des forêts. Disponible en ligne à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000021030443>
- [3] DRIEAT. Modélisation des déplacements en IDF avec MODUS 3.1. Scénario prospectif et résultats à l'horizon 2030. Mars 2021. Disponible en ligne à l'adresse [https://www.driear.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/modelisation\\_des\\_deplacements\\_en\\_idf\\_avec\\_modus\\_3.1.pdf](https://www.driear.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/modelisation_des_deplacements_en_idf_avec_modus_3.1.pdf)
- [4] PTV. PTV Visum, logiciel de planification du trafic. Disponible en ligne à l'adresse <https://www.ptvgroup.com/fr/produits/ptv-visum>
- [5] Mobitéléx, les décryptages de Mobilettre. Financement d'IDFM : le rapport va sortir, en voici l'essentiel. Disponible en ligne à l'adresse <https://www.mobilettre.com/mobitelex-417-19-juin-2023/>
- [6] GUIDE D'OUTILS À DISPOSITION POUR UNE ANALYSE DE LA MOBILITÉ DANS LE CADRE DES AVIS POUR AGRÉMENT. Guide proposé par la DRIEAT/SCDD. Version d'avril 2021.
- [7] Omnil, Service de la connaissance, des études et de la prospective. Et si on utilisait le vélo? Marc Eloy, Ivan Derré. Disponible en ligne à l'adresse [https://www.omnil.fr/IMG/pdf/driear\\_et\\_si\\_on\\_utilisait\\_le\\_velo\\_juillet\\_2014.pdf](https://www.omnil.fr/IMG/pdf/driear_et_si_on_utilisait_le_velo_juillet_2014.pdf)