
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Stage – Ingénieure d'études mobilités

Egis

7 rue de la Rainière,
44300 Nantes



Tuteur entreprise :

Emmanuel LE COZ
Chef de Projet Mobilités –
Responsable site de Nantes

Tuteur académique :

Sébastien LARRIBE

Maëlys MAILLARD

IUT RESEAU
2024-2025

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce stage.

Je veux tout d'abord remercier l'ensemble du pôle Ville et Transports, de l'agence de Nantes, pour m'avoir accueillie pour ce stage.

Je remercie particulièrement Emmanuel LE COZ, mon tuteur de stage, pour son encadrement, son accompagnement personnalisé et ses conseils dispensés tout au long de cette expérience professionnelle.

Je souhaite également adresser une reconnaissance particulière à l'ensemble de mes collègues de l'équipe Mobilités, notamment pour leur bienveillance à mon égard et leur disposition à m'aider dans diverses tâches. Leur professionnalisme a grandement contribué à la réussite de ce stage.

Un grand merci également à mon tuteur universitaire, Sébastien LARRIBE, pour son suivi et ses remarques toujours constructives.

Pour finir, merci à Egis pour m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein d'une grande entreprise connue à l'international pour ces compétences techniques et merci à Polytech Tours et l'ensemble du corps professoral et administratif pour ces cinq années d'études qui s'achèvent avec ce stage de fin d'études.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	1
TABLE DES FIGURES	3
TABLE DES TABLEAUX	3
INTRODUCTION	4
1. MISE EN CONTEXTE DU STAGE	5
1.1. Présentation d'Egis	5
1.1.1. Egis, un acteur global de l'ingénierie	5
1.1.2. Un groupe en transformation stratégique	6
1.1.3. Une organisation matricielle	7
1.1.4. Un engagement global	8
1.2. Équipe d'accueil	10
2. PRÉSENTATION DES MISSIONS	13
2.1. Contexte	13
2.2. Préparer la modélisation : comprendre les comportements pour poser des hypothèses robustes	14
2.3. Tester, simuler, itérer : le calage d'un modèle	21
2.4. Des scénarios à la stratégie : transformer le modèle en outil de décision	29
2.5. Perspectives	32
3. RETOUR D'EXPÉRIENCE	34
3.1. Bilan et compétences acquises	34
3.2. Analyses et perspectives d'évolutions professionnelles	35
LEXIQUE ET TABLE DES SIGLES	37
BIBLIOGRAPHIE	39
ANNEXES	41
ANNEXE 1 - COMPARAISON DES ZONAGES EXISTANTS	41
ANNEXE 2 - ÉVOLUTION DE LA CLASSIFICATION DES COMMUNES PAR TYPOLOGIE	43
ANNEXE 3 - INDICATEURS DE MOBILITÉS CALCULÉS	49
ANNEXE 4 - PROGRESSION DU CALAGE	50

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1. Une présence sur toute la chaîne de valeurs des projets	5
FIGURE 2. Implantations d'Egis en France	6
FIGURE 3. Organisation matricielle d'Egis	7
FIGURE 4. Positionnement de l'équipe Mobilités au sein de sa BL	10
FIGURE 5. Présentation de l'équipe Mobilités de l'agence de Nantes	11
FIGURE 6. Évolution des classifications de communes par typologie	16
FIGURE 7. Étude de la part modale du vélo	20
FIGURE 8. Modèle à 4 étapes	21
FIGURE 9. Cartes de GEH en HPM pour la situation de référence actuelle	25
FIGURE 10. Évolution des GEH au cours du calage	26
FIGURE 11. Carte de comparaison des écarts entre les données du modèle et les comptages en HPS27	
FIGURE 12. Bilan de mon stage	34

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. Effectifs des typologies de communes par territoire	18
TABLEAU 2. Seuils limites du coefficient de variation	18
TABLEAU 3. Résultats de l'évaluation des règles par rapport à la valeur de leur coefficient de variation	19
TABLEAU 4. Intérêt des missions réalisées dans le cadre du calage d'un modèle de déplacements	29
TABLEAU 5. Comparaison modèle statique et modèle dynamique	31

INTRODUCTION

Les stages constituent une étape essentielle dans la formation d'un ingénieur. En offrant une immersion professionnelle, ils viennent compléter l'enseignement académique et permettent de transformer les acquis théoriques en compétences opérationnelles.

Ce stage de fin d'études réalisé au sein d'Egis, acteur international reconnu dans l'ingénierie, marque ainsi l'aboutissement de mes trois années de spécialisation en génie de l'aménagement et de l'environnement.

Après des premières expériences en tant qu'exécutante et technicienne, ce stage m'a offert l'opportunité d'endosser pleinement, pour la première fois, le rôle d'ingénieure. En rejoignant l'équipe Mobilités de l'agence de Nantes, j'ai pu mettre en pratique mes compétences pour appréhender des problématiques de mobilités variées, confirmant ainsi mon attrait pour les sujets de modélisation et de simulation au travers d'études concrètes.

Ce rapport revient sur cette expérience de manière synthétique et réflexive. Il présentera d'abord l'entreprise d'accueil, détaillera ensuite les missions réalisées et conclura sur les enseignements que j'en ai tirés.

1. MISE EN CONTEXTE DU STAGE

1.1. Présentation d'Egis

1.1.1. Egis, un acteur global de l'ingénierie

Egis est un groupe d'ingénierie français qui se distingue par son expertise couvrant l'architecture, le conseil, l'ingénierie, la construction, l'énergie ou encore les services à la mobilité.

Depuis plus de 70 ans, Egis regroupe des dizaines de sociétés pour compléter ses domaines d'expertise. Les racines du groupe se trouvent dans quelques entreprises historiques comme BCEOM (ingénierie multisectorielle), Beture Infrastructure (ingénierie multisectorielle), Semaly (transports urbains et ferroviaires, métros et tramways), Scetauroute (infrastructures de transport, routes et autoroutes) ou Isis (mobilité). Au fil d'années, suite à la fusion de ces entités historiques, la politique d'acquisitions du groupe a perduré, étoffant toujours plus son expertise.

Cette **pluridisciplinarité dans les domaines d'activités** s'accompagne d'une transversalité dans les compétences. En effet, le cœur de métier des 20 500 collaborateurs d'Egis est de concevoir des infrastructures et des bâtiments, mais aussi de les exploiter. Cet accompagnement à chaque étape des projets témoigne alors d'un positionnement sur l'ensemble du cycle de vie et donc de **l'approche holistique du groupe (Figure 1)**.

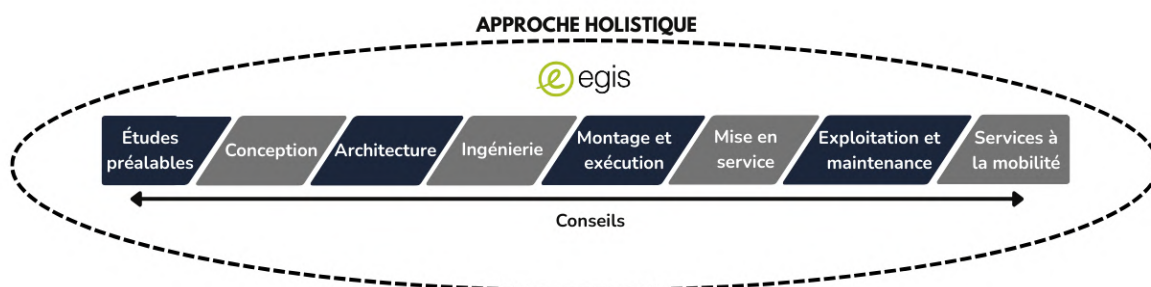


FIGURE 1. Une présence sur toute la chaîne de valeurs des projets
(Source : Egis / Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Fier de cette expertise, Egis dispose aujourd'hui d'un **maillage géographique dense** en France et à l'international avec une présence dans plus de 100 pays (**Figure 2**). Ce large réseau permet au groupe de conserver un ancrage local, chaque agence ayant une connaissance fine du territoire dans lequel elle intervient, tout en exploitant son expertise globale, créant alors une **synergie vertueuse entre proximité et cosmopolitisme**.

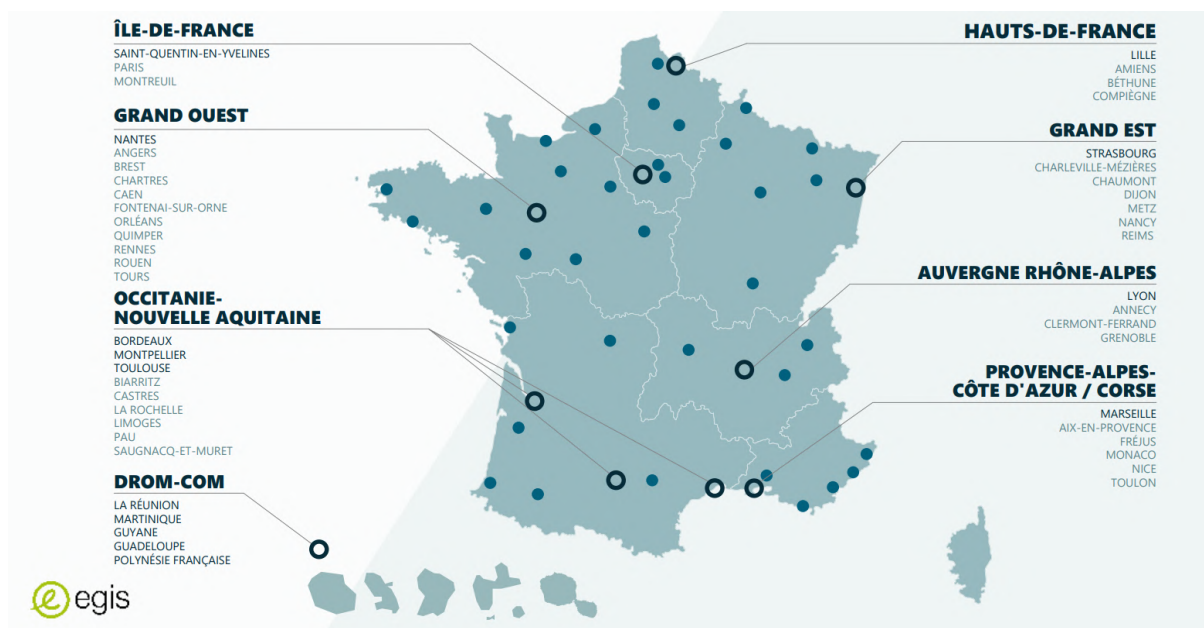


FIGURE 2. Implantations d'Egis en France
(Source : Egis, 2023)

Fort de tout cela, Egis a donc su s'imposer comme le **premier ingénieur français**. Son expertise technique est aussi reconnue à l'international comme le démontre la 16^e place du groupe dans le classement international ENR des sociétés d'ingénierie (*Rapport D'activité 2024 | Egis, s. d.*). Ce rayonnement s'appuie sur des projets emblématiques tels que :

- Le Grand Paris Express, plus grand projet d'infrastructure en Europe - Transport ;
- Le village des athlètes de Saint-Ouen et Saint-Denis dans le cadre des JO 2024 - Ville ;
- Le Réacteur Thermonucléaire Expérimental International (ITER), plus grand projet de fusion nucléaire au monde - Énergie ;

1.1.2. Un groupe en transformation stratégique

Pourtant, l'objectif affiché par Egis est clair : intégrer le top 10 des leaders mondiaux de l'ingénierie. C'est pourquoi, un plan stratégique intitulé « Impact the Future » a été lancé en 2021. Ce plan s'appuie sur plusieurs axes tels que la réduction des émissions de CO₂, la systématisation de l'écoconception dans les projets ou encore le développement d'un pôle fort autour de la transition énergétique (*Notre Vision Stratégique, s. d.*).

Pour cela, Egis s'appuie sur ses nombreux atouts, notamment sur le plan financier. Avec près de 2,2 milliards d'euros de chiffre d'affaires en 2024 et une croissance soutenue, Egis a les moyens de ses ambitions (*Rapport D'activité 2024 | Egis, s. d.*). De nombreuses actions ont également été mises en place avec :

- Un nouvel actionnaire majoritaire suite à l'arrivée de Tikehau Capital par le biais de son fonds dédié à la transition énergétique. Aux côtés de la Caisse des Dépôts, actionnaire historique du groupe, et des cadres partenaires et salariés, cet actionnariat permet de renforcer la solidité financière du groupe en apportant une capacité d'investissement accrue dans des domaines stratégiques ;
- Une forte croissance externe, avec 37 acquisitions de sociétés entre 2021 et 2024, qui a permis de gagner de nouvelles parts de marchés : l'acquisition de la société d'ingénierie McIntosh Perry (Canada et États-Unis, 800 collaborateurs) en 2023 a par exemple permis à Egis de se développer en Amérique du Nord ;

- Une nouvelle organisation du modèle opérationnel avec une mutualisation des ressources et des outils au niveau mondial. On peut citer la mise en place d'une plateforme digitale d'informations et de contenus partagés pour l'ensemble des collaborateurs du groupe. Le programme Earth, permettant une harmonisation du pilotage et du développement des ressources (suivi des temps, des coûts, indicateurs de performance, etc.) entre toutes les entités et tous les pays, est également un exemple caractéristique de cette nouvelle organisation.

1.1.3. Une organisation matricielle

Suite à la simplification de l'organisation, c'est désormais un modèle opérationnel matriciel qui structure Egis autour de Business Lines (BL) et de régions.

Les activités et les services qui présentaient des intérêts, des marchés ou des clients communs ont été regroupés au sein d'une même Business Line afin de permettre une meilleure gestion des ressources. Egis est donc aujourd'hui régi par 3 Business Lines :

- Transport et Territoires (6 000 collaborateurs) ;
- Énergie et villes durables (5 400 collaborateurs) ;
- Conseil et exploitation (4 440 collaborateurs).

Ces 3 BL sont elles-mêmes déclinées en Services Lines (SL) (*Figure 3*).

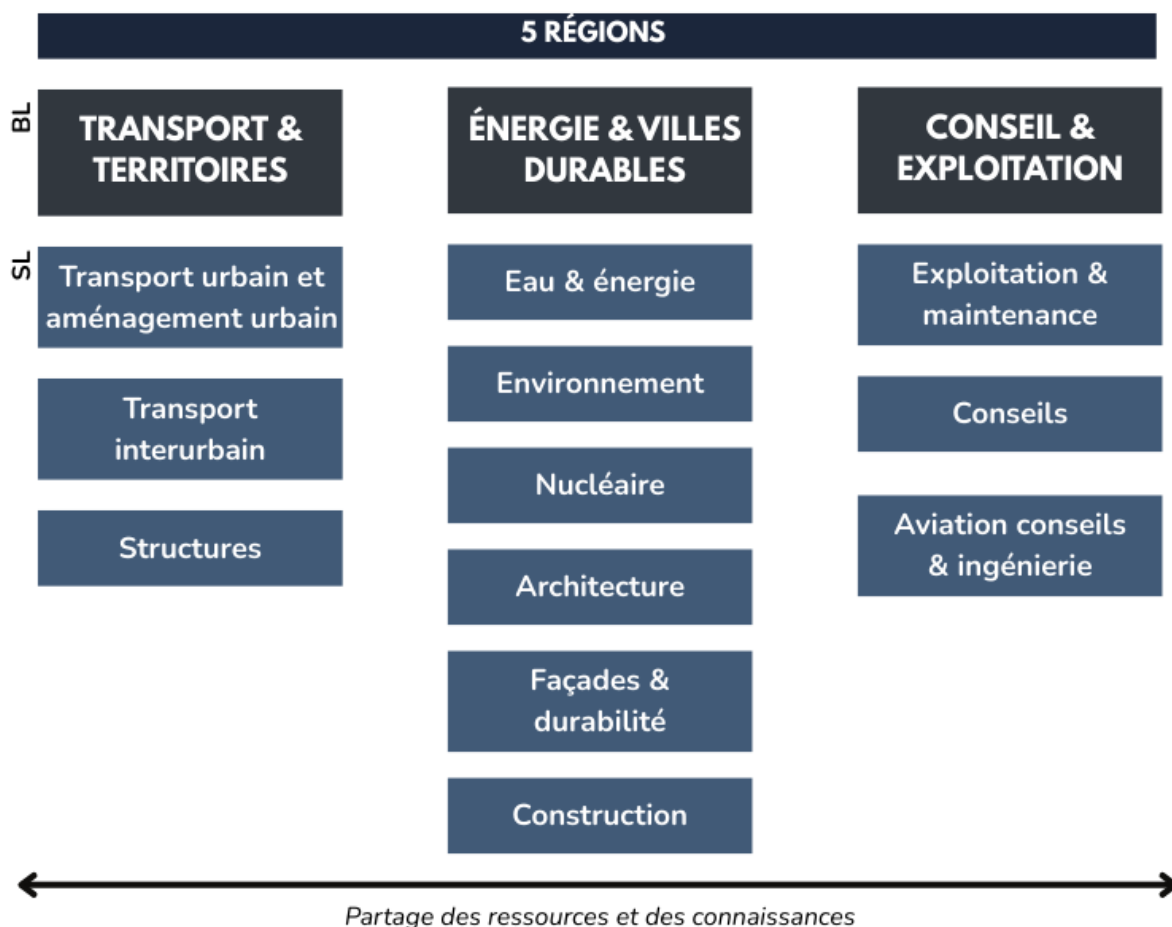


FIGURE 3. Organisation matricielle d'Egis
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Ces Business et Services Lines sont desservies en 5 régions, également définies selon leurs intérêts opérationnels et stratégiques :

- France ;
- Europe-Afrique ;
- Moyen-Orient et Asie du Sud ;
- Amériques ;
- Asie-Pacifique.

Conjointement à ces différentes entités, on retrouve également l'ensemble des fonctions supports primordiales au bon fonctionnement d'un groupe d'une telle envergure : finance, ressources humaines, développement commercial, juridique, communication, éthique et conformité, ESG et climat, immobilier et systèmes d'informations.

1.1.4. Un engagement global

En ce qui concerne sa politique RSE, Egis se revendique comme une **entreprise responsable, humaine et créative**.

Une entreprise **responsable** avec une forte ambition sur le plan environnemental, clairement affichée dans le plan stratégique de l'entreprise, mais aussi dans l'ensemble de ses supports de communication. En effet, en raison de ses diverses activités dans le secteur des transports, de l'énergie ou encore de l'aménagement et à travers les offres et solutions proposées, Egis a un impact direct sur l'environnement. Face aux enjeux climatiques actuels, la responsabilité de l'entreprise est ainsi engagée. C'est pourquoi les engagements environnementaux d'Egis se déclinent à plusieurs niveaux. En tant qu'entreprise, Egis adopte un positionnement volontariste et proactif sur les affaires traitées en choisissant de ne pas se positionner sur des projets en lien avec l'extraction et l'exploitation d'énergies fossiles. En tant qu'ingénieur, il s'agit de mobiliser le savoir-faire et les compétences des collaborateurs du groupe afin de trouver des solutions adaptées permettant de réduire les émissions des projets des clients et leurs impacts sur la biodiversité. C'est une entreprise responsable également au niveau de sa gouvernance avec des engagements en matière de déontologie et de conformité supportés par différents codes et chartes et attestés par une certification de système de management anti-corruption (ISO 37001).

Une entreprise **humaine** qui porte une attention particulière à la Santé et la Sécurité au Travail (SST). Assurer un environnement de travail sain et sécurisé pour l'ensemble des salariés constitue un enjeu central, illustré par des actions concrètes observées lors de mon stage. Depuis 2014, Egis structure sa politique SSE sous le label "Safety Attitude by Egis". Une formation de sensibilisation en e-learning obligatoire pour l'ensemble des salariés sensibilise à cette politique en détaillant les 8 règles de la Safety Attitude. Conjointement à cela, de la formation et de l'information continue des employés sont réalisées pour les adapter aux évolutions techniques et réglementaires. Des simulations de crise avec des exercices incendies par exemple ou des semaines thématiques d'information sont également régulièrement organisées.

L'entreprise s'appuie également sur des documents réglementaires relatifs à la SST, tels que :

- La présence du Comité Social et Économique (CSE), obligatoire dans les entreprises de 11 salariés et plus, qui joue un rôle crucial dans le dialogue social ;
- Les accords de branches et d'entreprise, ainsi que les conventions collectives, qui régissent les conditions de travail et les obligations de l'employeur ;
- Le Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels (DUERP), qui cartographie l'ensemble des risques présents dans les unités de travail de l'entreprise et met en place des

mesures de prévention pour éviter et réduire les risques socio-professionnels et psychosociaux (RPS).

Une entreprise **créative** qui se caractérise par une politique volontariste en matière d'innovation axée autour de plusieurs axes stratégiques :

- La transition écologique et énergétique ;
- La mobilité et les transports du futur ;
- La construction de la ville durable ;
- L'ingénierie 4.0 (jumeaux numériques, IA, etc.).

L'innovation est ainsi soutenue par d'importants investissements en R&D, 74 millions d'euros en 2024, mais aussi par différents programmes à l'image d'un incubateur, The Lab, ou d'un challenge innovation "Connect. Create. Impact." ouverts aux entrepreneurs, start-ups, étudiants du monde entier. Cette dynamique porte ses fruits : plusieurs projets ont abouti à des réalisations concrètes et rien qu'en 2024, 19 brevets ont été déposés et 34 prix décernés (*Innovation | EGIS, s. d.*).

1.2. Équipe d'accueil

J'ai effectué mon stage au sein de l'**équipe Mobilités de Nantes** intégrée à la Direction des Études Amont, Mobilités et Planification (DEAMP) appartenant à la Business Line Transports et Territoires (**Figure 4**).

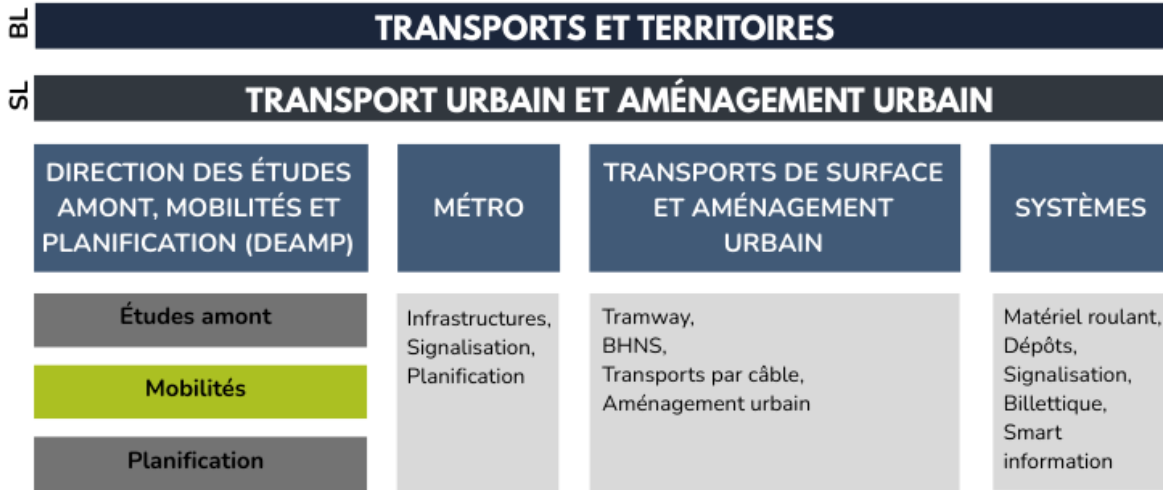
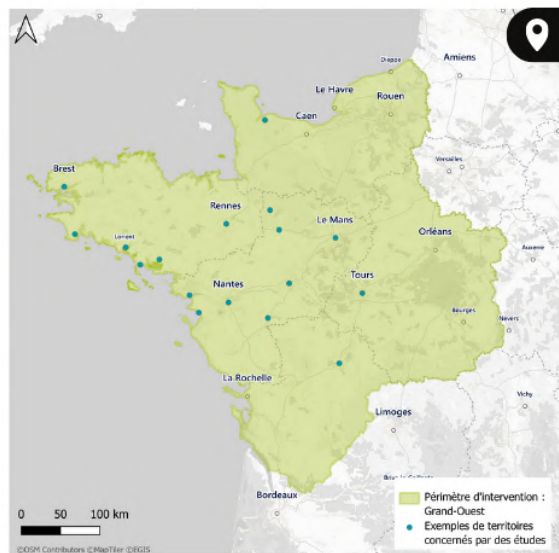
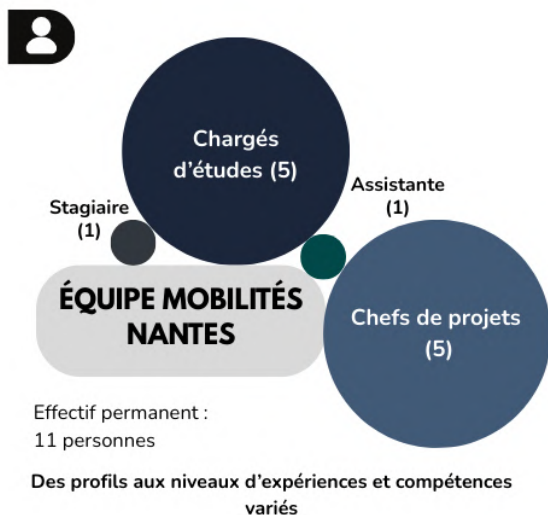


FIGURE 4. Positionnement de l'équipe Mobilités au sein de sa BL
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Les équipes Mobilités ont pour mission de justifier, définir et concevoir les projets portés par les collectivités, les Autorités Organisatrices des Mobilités (AOM) et leurs partenaires. Elles accompagnent ces acteurs à chaque étape, en intégrant les enjeux de décarbonation des transports, de promotion de la multimodalité, d'intégration des modes de déplacement doux et de développement durable des territoires.



Des échelles d'interventions du grand territoire à celle du carrefour

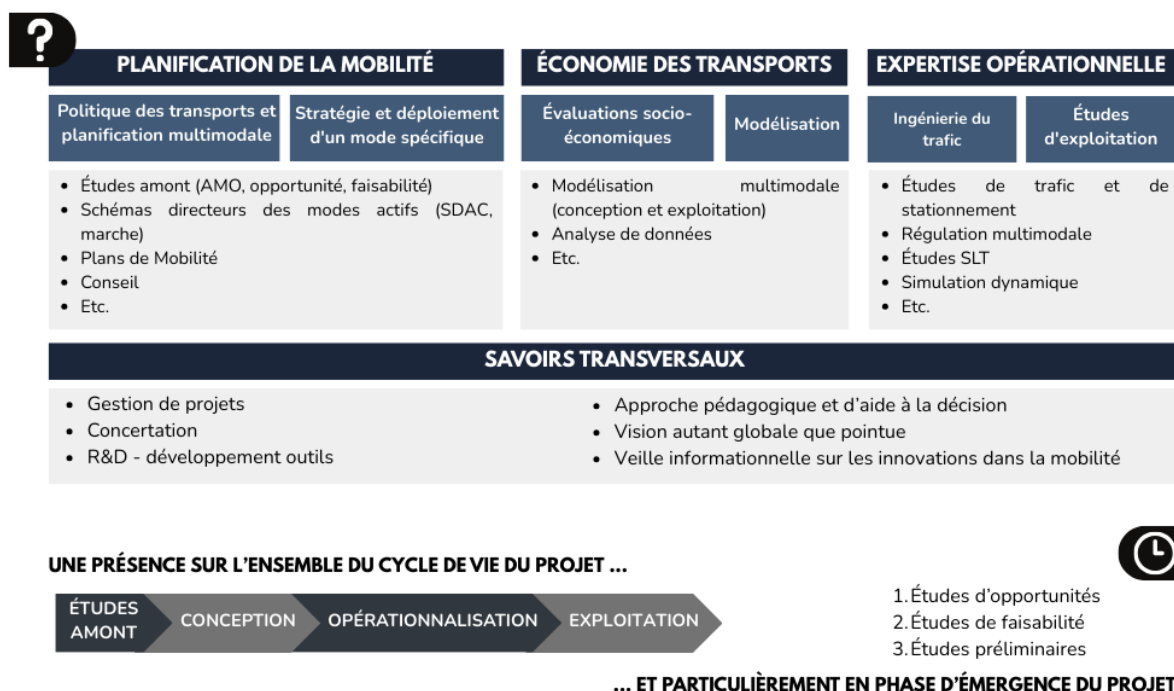


FIGURE 5. Présentation de l'équipe Mobilités de l'agence de Nantes
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

La **figure 5** nous montre donc que l'équipe Mobilités de Nantes est une **équipe pluridisciplinaire** lui conférant une **grande souplesse** et une **forte capacité d'adaptation** : des qualités essentielles pour répondre précisément aux attentes des clients et à leur variété de projets de mobilité. En effet, les affaires traitées sont marquées par une grande diversité, que ce soit dans les sujets, les contextes, les enjeux, les types de clients et de partenaires, les compétences et outils mobilisés, les durées, les budgets ou encore les échelles d'intervention. Cependant, un point commun se dégage tout de même : la démarche projet.

La **démarche projet** constitue un cadre structurant fondamental. Chaque étude s'inscrit dans un processus clairement défini, avec des étapes identifiables, un budget alloué, un calendrier à respecter et un cahier des charges précis : ce sont des projets contractualisés. Ce fonctionnement est étroitement lié aux **appels d'offres** qui rythment l'activité des bureaux d'études. L'appel d'offres (AO) constitue un des piliers des marchés publics et permet d'assurer une mise en concurrence équitable, transparente et efficiente entre les différents prestataires. Il existe différents types d'appels d'offres, chacun répondant à des besoins et des stratégies spécifiques :

- **Appel d'offres pour une prestation unique** : il s'agit d'un marché ponctuel passé pour répondre à un besoin identifié, comme une étude spécifique ou une mission isolée. Ce type d'appel d'offres correspond à une commande définie dans le temps et dans l'objet ;
- **Appel d'offres dans le cadre d'un accord-cadre mono-attributaire** : ce type de marché permet à la collectivité ou au maître d'ouvrage de passer des bons de commande auprès d'un seul prestataire retenu pendant toute la durée du contrat (généralement jusqu'à 4 ans). Pour le bureau d'études, cela représente une forme de stabilité et de visibilité sur les missions à venir, puisqu'il est systématiquement sollicité pour chaque besoin entrant dans le périmètre de l'accord-cadre ;
- **Appel d'offres dans le cadre d'un accord-cadre multi-attributaires** : plusieurs prestataires sont sélectionnés à l'issue de la procédure initiale. Lorsqu'un besoin se présente, une remise en concurrence est organisée entre les titulaires de l'accord-cadre. On parle alors de marchés subséquents. Cette approche permet à l'acheteur de bénéficier d'une mise en concurrence

continue, favorisant la performance et l'innovation, mais introduit une incertitude pour les attributaires, qui ne sont pas assurés d'être mobilisés systématiquement.

Ces différentes procédures sont encadrées par la réglementation des marchés publics et particulièrement le Code de la Commande Publique (CCP).

L'appel d'offres constitue la genèse de tout projet : c'est donc un exercice rigoureux, mais crucial. En amont, un **travail d'identification des opportunités** est nécessaire, ce qui implique une **veille stratégique permanente** pour cibler les appels d'offres qui correspondent aux capacités et ambitions de l'équipe. La phase de réponse quant à elle nécessite de comprendre en profondeur les besoins du commanditaire, les spécificités du territoire, les enjeux du projet et les contraintes techniques. Elle donne lieu à la rédaction d'un dossier complet, intégrant le chiffrage, la planification des étapes, les méthodes envisagées, ainsi que la mise en valeur des compétences de l'équipe et de l'image de l'entreprise. Elle exige rigueur, anticipation et réactivité de la part de l'équipe, dans un cadre où la qualité de la réponse et le respect des engagements conditionnent directement l'attribution du marché. Une fois le marché remporté, la démarche projet se déploie selon une progression cohérente, de la conception à la réalisation, en passant par la coordination des acteurs et l'adaptation permanente aux exigences du contrat.

2. PRÉSENTATION DES MISSIONS

À la différence d'un stage centré dès le départ sur un sujet bien défini, mon stage ne s'inscrivait initialement dans aucune étude unique ou de long terme. En raison du calendrier des projets en cours, aucune mission ne couvrait l'ensemble de ma période de stage. De prime abord, il n'y avait donc pas de sujet structurant clairement identifié.

L'objectif fixé était alors d'intervenir sur plusieurs études, afin d'explorer les différentes facettes des activités de l'équipe. Cette immersion m'a permis de mieux appréhender la transversalité dont sont empreintes les études de mobilités, où les thématiques, les échelles territoriales et les outils mobilisés varient fortement d'un projet à l'autre.

Cependant, au fil de mes interventions et en prenant du recul sur les missions menées, j'ai commencé à discerner des **points de convergence** entre des affaires qui, au départ, semblaient sans lien direct. Progressivement, une thématique commune s'est dessinée, me permettant de structurer ma réflexion autour d'un axe central.

J'ai ainsi choisi de regrouper l'ensemble des travaux menés autour de la problématique suivante :

Comment la modélisation peut-elle éclairer la compréhension et la planification des mobilités ?

C'est à travers cette problématique que je vais présenter, dans les pages qui suivent, les missions réalisées au cours de ce stage. Des encadrés reviendront sur le contexte de ces missions tandis que le corps de texte s'appliquera à détailler leur opérationnalisation et leur pertinence dans le cadre de cette problématique.

2.1. Contexte

Les réflexions sur l'aménagement du territoire amènent souvent à considérer l'évolution des infrastructures de transports. Au-delà des ressources considérables qu'elles engagent pour les pouvoirs publics, ces supports de mobilités sont structurants pour un territoire, que ce soit dans sa planification ou dans sa pratique (*Sétra, 2010*). Penser leur transformation revêt alors un caractère particulièrement stratégique. Dans ce contexte, il s'avère alors nécessaire pour le décideur politique d'**objectiver les décisions** prises en la matière. En ce sens, la **modélisation** constitue un levier de taille au service de l'aide à la décision afin de connaître, comprendre et prévoir les mobilités.

Souvent référé comme un outil, cette appellation peut néanmoins se révéler réductrice en occultant la complexité propre à la modélisation. En effet, derrière ce terme se cache plusieurs processus interdépendants qui ne se limitent pas à simplement lancer un modèle : la modélisation s'inscrit dans une **véritable logique d'ingénierie**. Dans la suite de ce rapport, la modélisation sera donc envisagée non pas comme un outil mais comme une **démarche cognitive globale**. Il s'agit donc d'explicitier cette démarche et de mettre en valeur l'ensemble du travail, souvent invisibilisé, relatif à la modélisation.

2.2. Préparer la modélisation : comprendre les comportements pour poser des hypothèses robustes

Avant d'envisager tout changement dans un territoire, il faut d'abord le connaître. La modélisation des déplacements commence donc par l'acquisition d'une **compréhension fine du territoire étudié, de ses enjeux, ses dynamiques et ses pratiques**. Concrètement, il s'agit de transformer des données brutes en informations exploitables et adaptées à la problématique étudiée. Cette étape préliminaire de préparation est primordiale et conditionne la pertinence des résultats de la modélisation.

Par nature, un territoire est empreint de beaucoup de complexité. Afin d'approcher au mieux sa réalité, à minima en matière de mobilités, il est possible de le concevoir comme une interaction entre trois sous-systèmes (*Bonnel, 2002*) :

- Le **sous-système de transport**, comprenant les infrastructures et leurs caractéristiques (vitesses, capacités, fréquences, longueur, etc.) ;
- Le **sous-système des activités** qui centralise la localisation dans l'espace des domiciles, des emplois et établissements d'enseignements ainsi que les espaces commerciaux et de loisirs et d'autres caractéristiques physiques ou économiques ;
- Le **sous-système des relations sociales** qui correspond aux relations et activités des acteurs du système urbain avec notamment leurs comportements de mobilités.

Ces différents sous-systèmes peuvent être appréhendés grâce à une grande **variété de données** à mobiliser judicieusement en fonction de leurs **critères de pertinence** (*Modélisation des Déplacements : Quelles Données Utiliser ?, 2024*) :

- Conjonction entre les informations fournies par les données et les besoins et enjeux de l'étude ;
- Disponibilités des données (ampleur géographique, temporelle, quantitative) ;
- Méthode de collecte qui impacte la représentativité des données ;
- Etc.

En matière de comportements de mobilités, les **enquêtes mobilité certifiées Cerema (EMC²)** constituent une **source de données de référence**. En ce sens, la première mission réalisée au cours de mon stage est particulièrement pertinente. En effet, l'objectif était de définir des potentialités de déplacements par types de communes et donc d'établir des règles génériques en ce sens en exploitant le potentiel des données de l'EMC² sur quatre territoires du Grand-Ouest : Brest, Nantes, Angers et Rennes.

TRAITEMENT STATISTIQUE D'ENQUÊTES DE DÉPLACEMENTS

Commanditaire : Pas de commanditaire, mission réalisée en interne

Périmètre d'étude : Grand-Ouest

Objectif : Définir des potentialités de déplacements par types de communes

Outil structurant : enquêtes mobilité certifiées Cerema (EMC²)

- *Origine* : Créées en 2018 pour harmoniser les méthodes d'enquêtes historiques (EMD, EDVM, EDGT)
- *Objectifs* : avoir une vision globale des déplacements à l'échelle d'un territoire afin d'élaborer des stratégies adaptées, mais aussi permettre des comparaisons spatiales et temporelles
- *Fréquence de collecte* : 10 à 15 ans
- *Couverture* : 1/3 du territoire national, 41% des communes et 74% de la population française (*Les Enquêtes Mobilité EMC2 | Cerema, s. d.*)
- *Méthodologie* : Enquêtes de préférences révélées organisées autour d'une enquête-cœur standardisée et d'enquêtes complémentaires optionnelles pour s'adapter aux problématiques locales.
 - Concrètement, une EMC² est photographie statistique des déplacements réalisés par les habitants d'un territoire un jour moyen de semaine (hors week-end), pour tous les motifs et par tous les modes de transport, y compris la marche (*Les Enquêtes Mobilité Certifiées Cerema : La Méthodologie | Cerema, s. d.*).

Travail réalisé :

1. Classification des communes ;
2. Exploitation par territoire ;
3. Exploitation croisée ;
4. Exploitation combinée, établissement de règles génériques et validation.

Dans un premier temps, une **classification des communes par typologie** a été établie. Lors de la structuration du cadre de la mission, il a été décidé de limiter le nombre de catégories de communes à cinq maximums. Cet aspect peut paraître anodin, mais le niveau d'agrégation d'une classification est primordial : il s'agit en effet de trouver l'équilibre entre une agrégation suffisamment fine pour pouvoir retranscrire les différences territoriales de comportements tout en restant suffisamment modérée pour rester lisible et facilement exploitable. Une fois le cadre clairement défini, les zonages d'études développés par l'INSEE ont été explorés et comparés (**Annexe 1**). En l'absence de zonage existant répondant aux besoins de la mission, il a fallu développer une nouvelle classification en croisant différents zonages. **Cette construction s'est faite de manière itérative** grâce à une analyse critique des différentes versions appuyée par un **travail cartographique** et la connaissance des territoires de l'équipe (**Figure 6 et Annexe 2**).

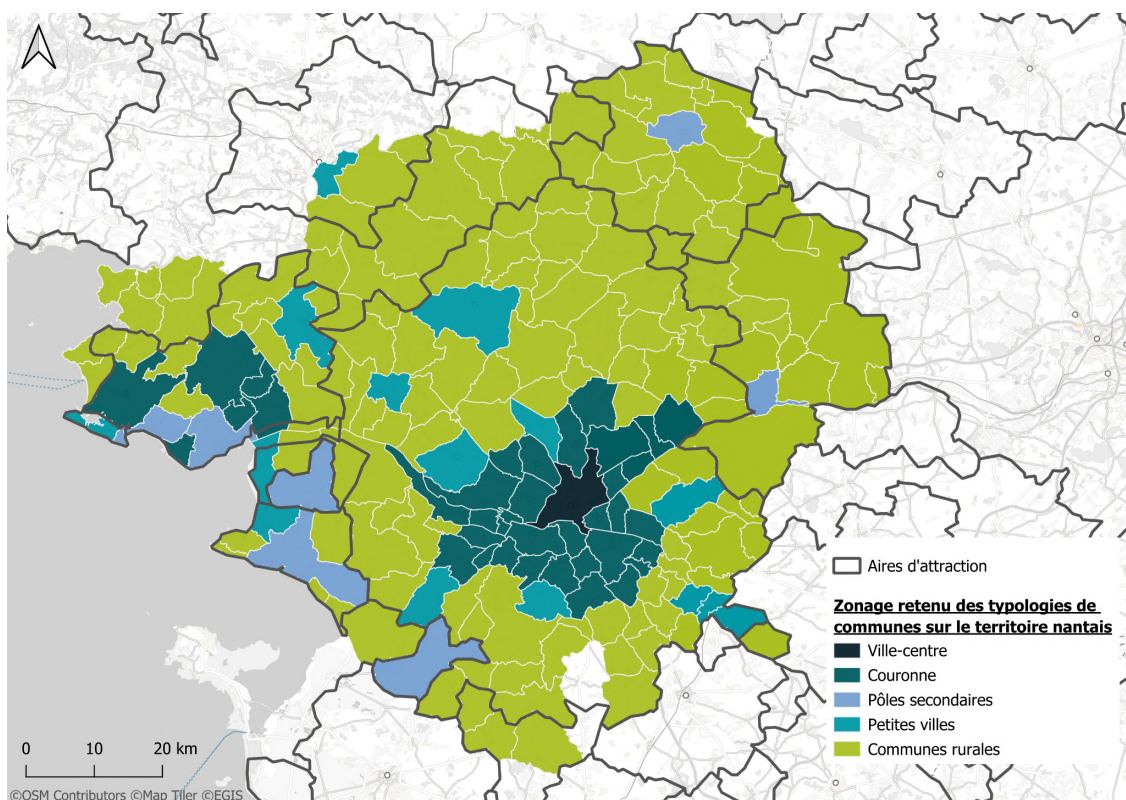
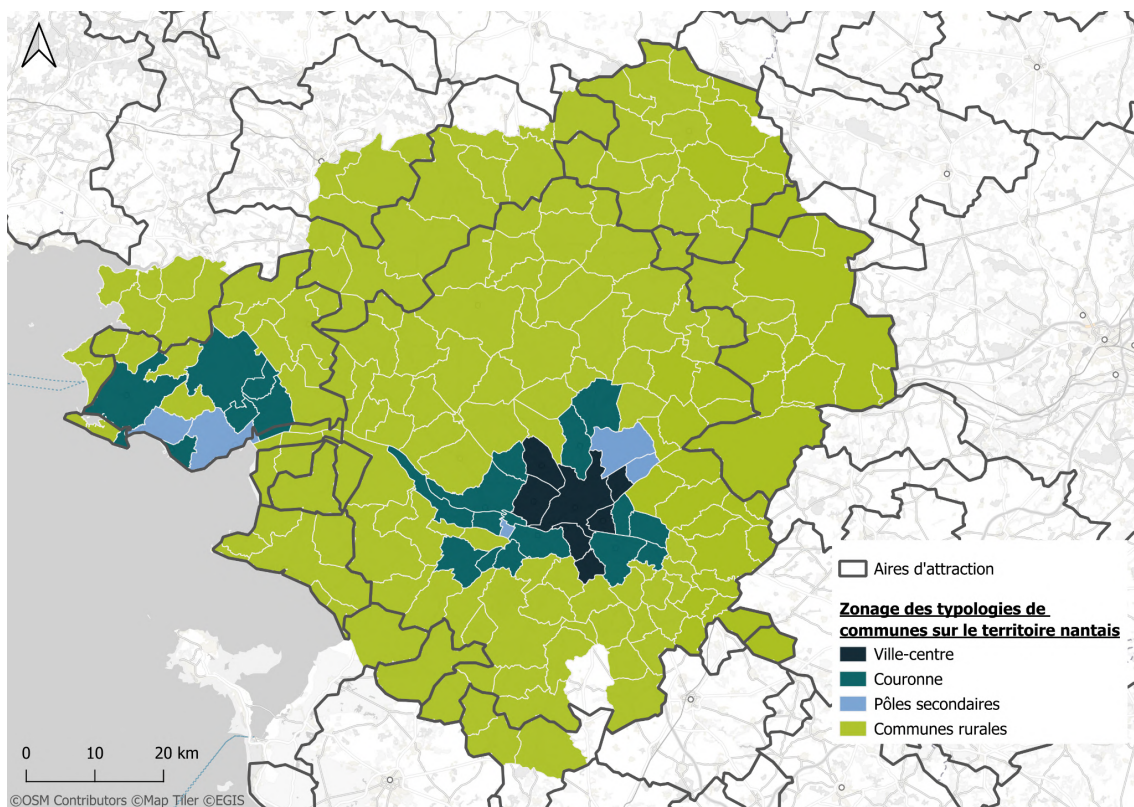


FIGURE 6. Évolution des classifications de communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

→ Par souci de lisibilité, cette figure présente uniquement la première version de la classification en haut et la version finale en bas. Les détails de ces classifications, ainsi que les versions intermédiaires, sont fournis en **annexe 2**.

C'est ainsi une classification des communes en **cinq catégories** qui a été retenue :

1. Ville-centre
2. Couronne
3. Pôles secondaires
4. Petites villes
5. Communes rurales

Après avoir classé tous les territoires étudiés par typologie de communes, le travail de traitement des données des EMC² par territoire peut commencer. Une EMC² représente un volume conséquent de données : préalablement à toute exploitation, il est donc impératif de mener une **phase d'appréhension des données**. Cette dernière permet de s'assurer que les données puissent être exploitées correctement, notamment via la compréhension du fonctionnement de la base de données initiale (encodage, zonage, redressement, etc.). La préparation des données intervient ensuite afin de les rendre **exploitables** : cela passe par la **construction de la base de données « opérationnelle » propre à la mission sur Excel**, qui implique une réduction du jeu de données afin de cibler uniquement les informations pertinentes au regard de la mission réalisée, mais aussi la mise en place de jointures adéquates, d'agrégation de certains champs, etc. S'ensuit alors le travail d'exploitation via le **calcul de multiples indicateurs** portant sur les modes, les motifs et autres caractéristiques des déplacements. La liste complète des indicateurs se trouve en **annexe 3**. Ces indicateurs sont complétés par des représentations graphiques ainsi que des tableaux croisés qui permettent d'esquisser une première analyse des résultats. Des études de distribution sont aussi menées afin d'**évaluer l'homogénéité de certains comportements de mobilité** au sein d'une même catégorie de communes et donc de s'assurer du potentiel de leur généralisation.

Une fois ce travail d'exploitation des EMC² réalisé individuellement pour chacun des territoires, il s'agit d'approfondir l'analyse des données en effectuant une **analyse croisée** des différents indicateurs. L'étape préalable à toute comparaison consiste à caractériser les territoires étudiés afin d'établir dans quelle mesure ils sont comparables. Cette caractérisation peut porter sur la taille, la densité de population, la typologie urbaine, l'accessibilité, l'offre de transports, etc.

Dans la mesure où l'on compare des communes de mêmes typologies urbaines (cf. classification préalablement établie), on part du postulat qu'elles sont équivalentes et donc comparables (à défaut de valider invariablement ce postulat, les études de distribution ne le réfutent pas). Des **tableaux comparatifs entre les quatre territoires** ont ainsi été construits. En complément, une base de données combinant les quatre territoires étudiés est créée afin d'avoir une tendance générale pour la comparaison des territoires, mais également surtout pour essayer de **corriger les biais liés au faible échantillonnage** dans certaines typologies de communes dans certains territoires (**Tableau 1**). En effet, en dessous de 30 individus statistiques, la loi des grands nombres, qui fonde le principe des sondages, ne s'applique pas : en première approche, le Cerema recommande même le seuil de 50 pour toute analyse statistique (Cerema, 2024).

	PÉRIMÈTRE CONSIDÉRÉ (en communes)				
Territoire	Brest	Angers	Nantes	Rennes	Cumulé
Ville-centre	1	1	1	1	1
Couronne	18	26	38	38	120
Pôles secondaires	4	3	10	12	29
Petites villes	2	1	16	16	35
Communes rurales	79	68	165	316	628

TABLEAU 1. Effectifs des typologies de communes par territoire
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

À l'issue de ce traitement, des premières observations concernant les résultats peuvent déjà être émises. Conformément à ce qui a été énoncé précédemment, de plus fortes disparités existent au sein des catégories de communes avec un faible échantillonnage (petites villes et pôles secondaires). Différentes tendances émergent notamment sur le plan spatial, on distingue deux profils types pour les ville-centres : les grandes métropoles (Rennes et Nantes) et le reste (Angers et Brest).

Additionnellement aux comparaisons des données numériques brutes ainsi qu'aux comparaisons graphiques, des **indicateurs de dispersions ont été calculés dans une logique d'objectivation des résultats** :

- L'écart-type ;
- Le coefficient de variation, afin de pouvoir comparer les valeurs entre elles (unités et échelles différentes).

En effet, l'objectif de la mission est d'établir des règles génériques de potentialités de déplacements et donc une forte variabilité appelle à nuancer les potentielles règles émises. Pour cela, des seuils limites pour le coefficient de variation ont été définis à dire d'expert (**Tableau 2**) :

Coefficient de variation	Interprétation statistique
< 10 %	Estimation fiable, de bonne qualité
10-15 %	Estimation acceptable mais à interpréter avec prudence
>15 %	Estimation peu fiable, très incertaine

TABLEAU 2. Seuils limites du coefficient de variation
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Ainsi, toute valeur d'indicateur issue de la moyenne cumulée des quatre territoires est considérée comme acceptable et donc recevable en tant que règle générique si le coefficient de variation de l'indicateur associé est inférieur ou égal à 15%. Conjointement, une étude de sensibilité sur la répartition modale est réalisée en retirant un territoire à la fois du calcul de la moyenne cumulée afin de voir si la valeur du coefficient de variation devient acceptable et donc voir si certaines règles sont influencées de manière prépondérante par certains territoires.

Sur plus de 180 règles testées, c'est ainsi 125 règles qui ont été retenues :

Catégorie d'indicateurs testés	Part de règles retenues
Profil de mobilités (budget temps et distance, taux de mobilité, etc.)	93%
Origine et destination	2,4%
Parts modales	56,3%
Motifs orientés	82%

TABLEAU 3. Résultats de l'évaluation des règles par rapport à la valeur de leur coefficient de variation (Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Le **tableau 3** met en évidence que le **potentiel de généralisation n'est pas homogène** et varie sensiblement selon les catégories d'indicateurs considérées. Les origines-destinations apparaissent particulièrement dépendantes du territoire étudié : le seul constat généralisable est que les déplacements s'effectuent majoritairement à l'intérieur d'une même typologie de communes. La généralisation des autres catégories d'indicateurs est plus prometteuse : pour les parts modales, ce potentiel concerne davantage les modes motorisés, l'hétérogénéité observée provenant surtout des modes actifs.

Ces règles génériques ont par la suite été vérifiées au travers d'une application sur une nouvelle EMC², sur le territoire de Vannes, qui a servi de jeu de test. Cette **validation externe** permet de vérifier que les règles ne sont pas uniquement adaptées aux spécificités du premier jeu de données et qu'elles conservent leur pertinence dans un contexte différent. Elle contribue ainsi à **évaluer leur capacité de généralisation** et à renforcer la fiabilité des conclusions pour une utilisation opérationnelle.

Les comportements des déplacements observés à Vannes ont ainsi été comparés à ceux prédits par les règles génériques pour les typologies de communes présentes sur le territoire. Pour cela, une analyse des résidus, i.e. l'écart absolu a été calculé ainsi que l'écart relatif afin d'identifier les indicateurs pour lesquels une règle générique n'est pas pertinente. Les résultats montrent qu'en l'état actuel d'exploitation le **potentiel de généralisation des règles émises reste limité**.

Il est toutefois important de souligner le **problème de représentativité du jeu de test vannetais**. En effet, le territoire couvert par l'enquête ne comporte pas toutes les typologies de communes (pas de pôle secondaire ni de petite ville) : il était néanmoins nécessaire de composer avec les données disponibles au moment de la mission.

Cependant, ce n'est pas la seule limite que l'on peut relever. L'étude repose sur des **corrélations** et non sur des relations causales, c'est pourquoi on parle de potentialités de déplacements et que **la prudence dans l'interprétation des résultats est de mise**. De plus, bien qu'un des intérêts de l'EMC² repose sur la transférabilité spatiale et temporelle des données, des limites à cela se dessinent également. En effet, les EMC² des territoires étudiés ont été réalisées entre 2015 et 2022 : au cours de cette période, plusieurs « événements » ont pu modifier les comportements de mobilité sur les territoires, rendant caduque toute comparaison. C'est notamment le cas de l'EMC² d'Angers réalisée en 2022, soit après la crise sanitaire du COVID-19. Des études menées par le Cerema ont montré les bouleversements de cette période de crise sur les pratiques de mobilité. Depuis 2021, on observe par exemple une baisse de la demande tous modes : sur la métropole d'Angers, le nombre de

déplacements journaliers est ainsi passé de 4 (EDGT 2012) à 3 (EMC² 2022), des enquêtes locales sur Nantes Métropole confirment aussi ces tendances avec un taux de mobilité de 3,4 en 2022 contre 4,20 lors de l'EDGT de 2015 (*Ruptures et Mutations : Quel Bilan de la Crise Sanitaire de la Covid-19 Sur les Mobilités ?* | Cerema, s. d.). Le vélo est également le grand gagnant du post-Covid avec une forte augmentation des parts modales du vélo comme le montre la **figure 7**.

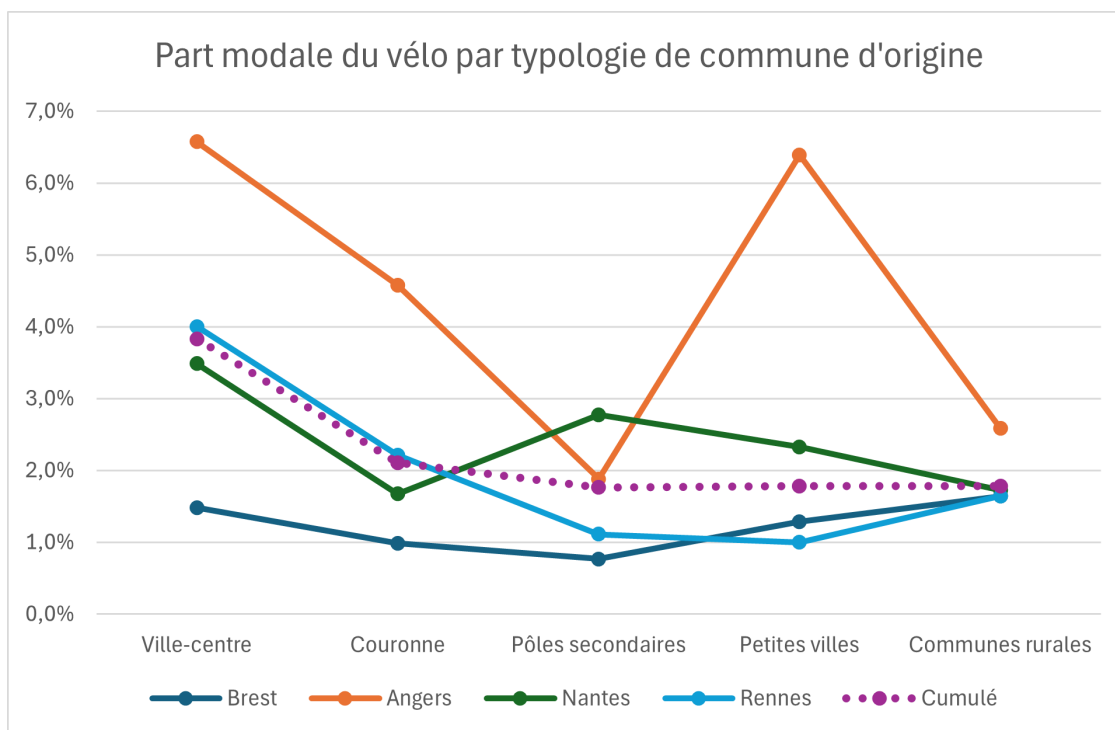


FIGURE 7. Étude de la part modale du vélo
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Face à cela, on pourrait alors s'interroger sur la pertinence de cette étude. Elle **offre des pistes d'applications futures concrètes**, notamment pour le **diagnostic des territoires peu denses ou ruraux**. Ces zones sont souvent non couvertes par des enquêtes de grande ampleur comme les EMC², qui requièrent un seuil minimum de 36 000 habitants (*Connaître les Pratiques de Mobilité des Habitants D'un Territoire Rural* | Cerema, s. d.). L'étude propose donc une solution pour pallier ce manque de données par transfert spatial pour obtenir, à minima, un ordre d'idée des dynamiques de mobilité d'un territoire non couvert par une EMC². En s'appuyant sur les données chiffrées de l'étude, l'équipe peut également enrichir et confirmer son expertise du Grand-Ouest, son principal territoire d'intervention.

En tant que telle, les bases de données constituées dans le cadre de cette mission constituent **un outil à part entière** qui peut orienter et contribuer de manière significative aux diagnostics territoriaux mais également à la modélisation. En effet, elles s'intègrent parfaitement dans la chaîne de modélisation et viennent alimenter les modèles en tant que **passerelle entre l'observation et la simulation** lors du calage notamment.

2.3. Tester, simuler, itérer : le calage d'un modèle

« *Modélisation (n. f.) : Présentation d'un phénomène complexe sous forme de modèle formel.* » Comme le souligne cette définition du Robert, le modèle constitue un outil central dans le processus de modélisation. Il convient donc, dans un premier temps, de revenir brièvement sur la notion de modèle de déplacements.

Un **modèle de déplacements** est un outil complexe qui doit permettre, utilisé en projection, d'évaluer l'impact, notamment circulatorio, la pertinence et l'intérêt d'un projet d'infrastructure de transport ou d'un programme d'aménagements afin d'**éclairer les choix d'aménagements et de politiques de mobilité**.

La mise au point d'un modèle de déplacements est un exercice exigeant, comme j'ai pu l'appréhender au cours de mon cursus académique via un projet de modèle de fret. Concrètement, une analogie avec un système de couches en interaction permet de cerner efficacement la philosophie de fonctionnement d'un modèle de déplacements.

Le modèle est construit comme une superposition de couches, les données d'entrées qui sont les fondations du modèle :

- **L'organisation spatiale.** C'est la base, le plan géographique du territoire, découpé en **zones**. C'est la couche qui définit où tout se passe ;
- **Les données socio-économiques.** Cette couche superpose sur chaque zone des informations sur la population, le nombre d'emplois, les revenus, etc. C'est la couche qui explique le "qui" et le "pourquoi" ;
- **L'offre de transport.** C'est la couche du réseau routier, des lignes de bus, des pistes cyclables, etc. Elle décrit le "comment" et le "par où" on peut se déplacer.

Le cœur du modèle réside dans les équations mathématiques qui établissent des règles d'interaction entre ces différentes couches. Elles sont généralement basées sur une **approche séquentielle en quatre étapes (Figure 8)** :

- **Génération** : combien de déplacements ?
- **Distribution** : entre où et où s'effectueront les déplacements ?
- **Choix modal** : quels modes de transport sont utilisés pour effectuer ces déplacements ?
- **Affectation** : quels itinéraires pour effectuer ces déplacements ?

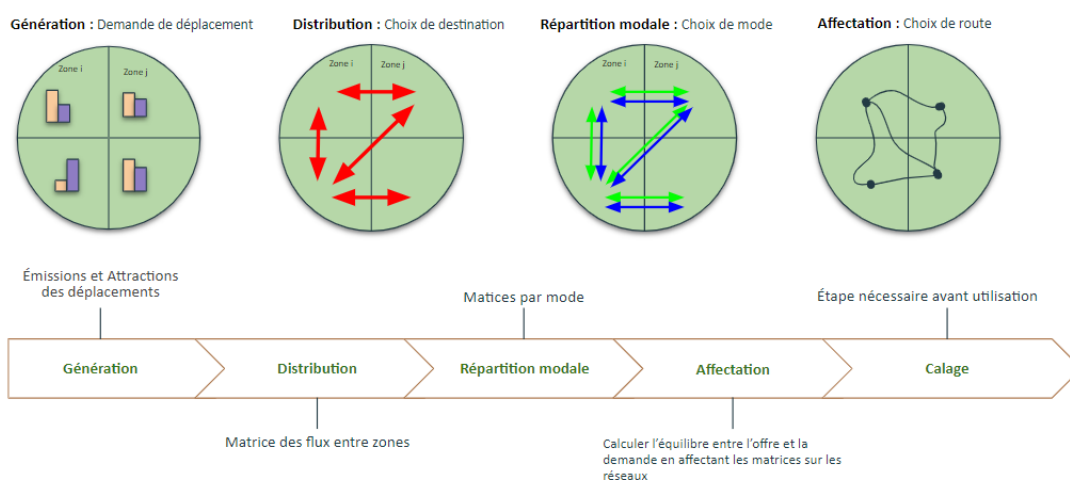


FIGURE 8. Modèle à 4 étapes
(Source : Cerema)

Ces étapes permettent de **simuler les flux de déplacements en fonction des caractéristiques des zones et de l'offre de transport**, afin d'évaluer, par exemple, comment un changement dans une couche (l'ajout d'une nouvelle ligne de tramway ou le développement d'un projet urbain) se répercute sur les autres (une modification des choix modaux ou des itinéraires empruntés). Ces interactions ne sont pas figées : elles varient en fonction des données d'entrées (différentes études, scénarios), des temporalités (heure de pointe du matin, du soir, heure creuse) et des horizons de projection. L'ensemble de ce système est formalisé dans un logiciel support afin de permettre l'exploitation du modèle.

ÉTUDE DE MODÉLISATION

Commanditaire : Nantes Métropole

Périmètre d'étude : Secteur stratégique de la route de Rennes, un des sept axes pénétrants de la ville de Nantes, passage obligé pour franchir le Cens, supportant à la fois des flux de transit et de la desserte locale.

Objectif : alimenter la réflexion sur la programmation à moyen-long terme du périmètre d'étude en déterminant les impacts circulatoires de plusieurs hypothèses d'aménagement

Outil structurant : Modèle multimodal de déplacements de Nantes Métropole

- Modèle statique agrégé développé et exploité sous CUBE ;
- *Périmètre* : Modèle macroscopique couvrant le département de la Loire-Atlantique, avec une représentation plus détaillée des transports pour l'aire urbaine de Nantes ;
- *Zonage et structure du graphe* : 720 zones, plus de 110 000 nœuds et 138 000 arcs ;
- *Principe de fonctionnement* :
 - Base de modèle à 4 étapes où la distribution et le choix modal sont combinés afin de prendre en compte les niveaux de service des différents modes de déplacement disponibles dans la distribution ;
 - Recours à une boucle de rétroaction à l'issue de l'affectation pour tenir compte de l'effet des congestions sur les choix de destination ;
 - Recours au pivot pour permettre plus simplement des corrections au vu de la complexité du modèle lui-même composé de différents modèles internes.
- *Modes pris en compte* : Véhicules particuliers, véhicules utilitaires, poids lourds et transports en commun. La prise en compte des modes actifs est limitée : les vélos ne sont pas affectés sur le réseau.

Travail réalisé :

1. Recalage du modèle
2. Codage des scénarios
3. Exploitation des résultats et production de livrables (tableaux, cartes, etc.)

Dans le cas de l'étude de modélisation à laquelle j'ai participé, le modèle de déplacements était déjà développé mais ce n'est pas pour autant qu'il peut se soustraire à **l'expertise du modélisateur**. **Un modèle n'est pas utile s'il n'est pas fiable** et cette fiabilité dépend directement de la **qualité de ses données d'entrée, de son paramétrage et de leur actualisation régulière**.

Bien qu'un modèle de déplacements se veuille comme le reflet aussi proche que possible de la réalité, il n'en reste pas moins qu'une observation de cette réalité. Il constitue donc par définition une **représentation simplifiée du réel** basée sur un ensemble d'hypothèses réductrices. Avant de réutiliser le modèle pour toute étude, il convient donc de s'assurer que cette représentation est toujours suffisamment satisfaisante au vu de l'utilisation souhaitée du modèle : c'est pourquoi une **étape de recalage** intervient. D'un point de vue technique, le calage d'un modèle de déplacements est un **processus itératif** qui vise à ajuster les variables d'entrée et les paramètres du modèle, dans l'objectif de reproduire certains aspects de la réalité en comparant les variables de sortie à des données observées (Sétra, 2010).

Dans le cadre de l'étude sur la route de Rennes, j'ai eu l'opportunité de réaliser cette étape de recalage. Il s'agit donc de la détailler et de **valoriser ce travail**, souvent absent des restitutions finales d'étude de modélisation, et ce, malgré son caractère fondamental pour la qualité du résultat final.

Il n'existe pas de procédure standard de calage, il est néanmoins possible de l'envisager comme un **jeu de pistes** où :

1. Les résultats du modèle avant (re)calage représentent l'hypothèse, basée sur les équations, les paramètres et les données d'entrée du modèle ;
2. Les données observées sont les "indices" : ils représentent la réalité. Dans le cadre de cette étude, il s'agissait de plusieurs dizaines de comptages routiers réalisés sur le périmètre d'étude (comptages sur sections, directionnels et enquête OD) ;
3. **Le calage est le processus d'enquête.** Il s'agit de confronter l'hypothèse (les flux du modèle) aux indices (les comptages routiers) pour ajuster le modèle puis relancer ce dernier et poursuivre l'enquête avec la nouvelle hypothèse.

Au cours de cette « enquête », l'objectif est donc de **comprendre les écarts entre les comptages routiers et les flux modélisés afin de pouvoir les minimiser**. Les actions de calage que j'ai entreprises ont ainsi consisté à :

- Mener en premier lieu une phase d'apurement des données observées (suppression des valeurs aberrantes, des doublons, sélection des comptages routiers, etc.) afin de caler notre modèle sur une base de données fiable ;
- Corriger les erreurs ou imprécisions de codage du réseau de voirie (catégories de voie, vitesses à vide, capacité, présence d'aménagements cyclables, mouvements tournants, etc.) ;
- Ajuster le zonage en sous-découpant des zones pour permettre une représentation plus fine du projet étudié dans cette étude ;
- Ajuster en dernier lieu les matrices de flux VP sur la base des générations de zones pour mieux retranscrire certains comportements en lien avec des zones d'activités notamment.

Divers indicateurs permettent de suivre l'évolution du calage et de le crédibiliser en mesurant sa qualité. Dans mon cas, c'est l'**indicateur GEH** (Generalized Error-Hazard) qui a été employé. Cet indicateur permet de prendre en compte non seulement les erreurs absolues et relatives, mais également de minorer les erreurs relatives importantes sur des flux absolus faibles, ce qui le rend particulièrement adapté par rapport à des indicateurs plus traditionnels comme l'écart absolu. En pratique, on a :

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}}$$

Où :

- M est le trafic horaire modélisé ;
 - C est le trafic horaire réel i.e. la valeur de comptage.
-
- Un GEH inférieur à 5 est généralement considéré comme un très bon calage.
 - Un GEH entre 5 et 10 est acceptable, mais peut indiquer la nécessité d'ajustements.
 - Un GEH supérieur à 10 signale un écart significatif entre le modèle et la réalité observée, ce qui nécessite une correction du modèle.

Il s'agit donc de **minimiser la valeur du GEH** pour chaque tronçon du réseau pour lequel on dispose d'une donnée de comptage. De pair aux GEH, différents outils m'ont permis d'orienter les ajustements réalisés :

- **Des représentations cartographiques :**
 - Cartes descriptives des réseaux (vitesses, aménagements cyclables, etc.) fournies par la maîtrise d'ouvrage qui permettent de notamment de corriger les éventuelles évolutions intervenues depuis le dernier calage du modèle ;
 - Cartes d'affectation du trafic modélisé sur le réseau qui permettent d'étudier la répartition des flux vis-à-vis de la hiérarchie des voies ou des pratiques connues ;
 - Cartes de chevelus qui permettent d'analyser les chemins empruntés par les trafics d'une OD et donc de caractériser le type de trafic présent sur la zone étudiée : s'il s'agit de desserte interne au périmètre d'étude, un vrai potentiel de correction existe ce qui est moins le cas pour les flux de transit.
- **Des observations sur le terrain** et grâce à Google Street View qui permettent de mieux comprendre les régimes de priorités aux carrefours ou encore d'appréhender les pentes, paramètres qui peuvent par exemple impacter la capacité ou la vitesse d'un tronçon ;
- La **base de données construite à partir de l'EDGT de Nantes Métropole** pour la définition de potentialités de déplacements, détaillée précédemment dans ce rapport. Afin de mieux retranscrire la réalité des flux et des « écoulements » en situation projet, une modification du zonage s'est imposée impliquant alors une redistribution des flux émis et attirés par les zones découpées afin d'intégrer les nouvelles zones considérées. Les données de l'EDGT ont ainsi permis de déterminer des parts de résidents et de travailleurs au sein des zones étudiées pour les différentes périodes considérées (HPM et HPS). En croisant ces parts avec la répartition de la population et des emplois au sein des zones, le redressement des matrices de distribution a pu être effectué. Additionnellement, un **travail de programmation** a été nécessaire pour intégrer ces modifications structurelles dans le modèle.

De nombreuses itérations ont ainsi été réalisées : les *figures 9 et 10* permettent d'apprécier les différentes tentatives d'ajustements et leurs effets, mélioratifs ou non, sur le calage du modèle.

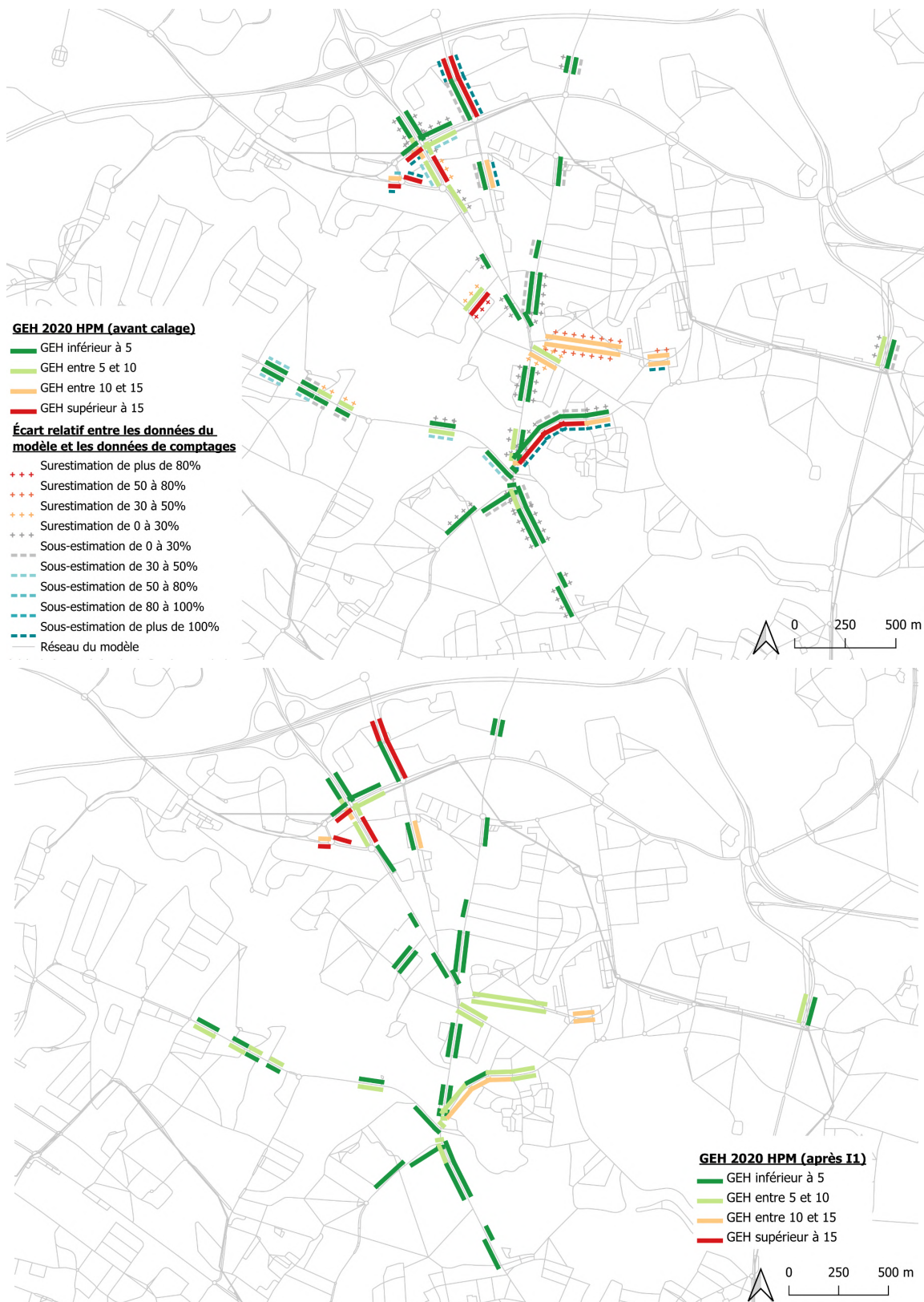


FIGURE 9. Cartes de GEH en HPM pour la situation de référence actuelle
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

→ Par souci de lisibilité, cette figure présente uniquement la situation initiale avant calage en haut et la première itération en bas. Les cartes de GEH pour l'ensemble des itérations en HPS sont disponibles **annexe 4** afin d'apprécier pleinement l'évolution du calage.

HPM							
GEH HPM	Ref 2020 initiale	Itération 1	Itération 2	Itération 3	Itération 4	Itération 5	Itération 6 finale
GEH < 5	55%	53%	56%	52%	47%	53%	52%
GEH <10	71%	79%	79%	79%	77%	82%	76%
GEH < 15	85%	89%	89%	89%	90%	90%	89%
GEH < 20	90%	92%	92%	95%	95%	95%	94%
HPS							
GEH HPS	Ref 2020 initiale	Itération 1	Itération 2	Itération 3	Itération 4	Itération 5	Itération 6 finale
GEH < 5	56%	65%	63%	65%	60%	66%	64%
GEH <10	76%	74%	73%	76%	76%	74%	77%
GEH < 15	85%	89%	87%	87%	89%	87%	86%
GEH < 20	98%	98%	100%	98%	100%	100%	98%

FIGURE 10. Évolution des GEH au cours du calage
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Au vu du travail important que représente le calage, il est légitime de se demander : **quand un modèle est-il calé ?** Bien que cette question soit primordiale, il n'existe pas de liste exhaustive de critères objectifs ou de valeurs seuils permettant de valider assurément la pertinence d'un modèle. Un calage est donc en théorie toujours perfectible. En pratique, cependant, le point d'arrêt est atteint par la **conjonction entre le délai imposé par la maîtrise d'ouvrage et l'obtention d'un modèle produisant des résultats jugés suffisamment cohérents.**

Pour acter cette fin de processus et garantir la transparence et la pérennité du modèle, un rapport de calage est rédigé. Ce rapport contient notamment une carte de comparaison finale entre les données observées et celles du modèle (**Figure 11**). Cette carte s'avère un outil essentiel pour le maître d'ouvrage, car elle illustre les défauts et qualités du calage et met en lumière les points de vigilance à garder en tête pour l'analyse future. Elle permet de rappeler que **les résultats d'un modèle doivent être appréciés en premier lieu pour leur ordre de grandeur**, et que la différence entre deux situations est souvent plus parlante que les valeurs absolues : c'est l'interprétation relative qui doit donc primer.

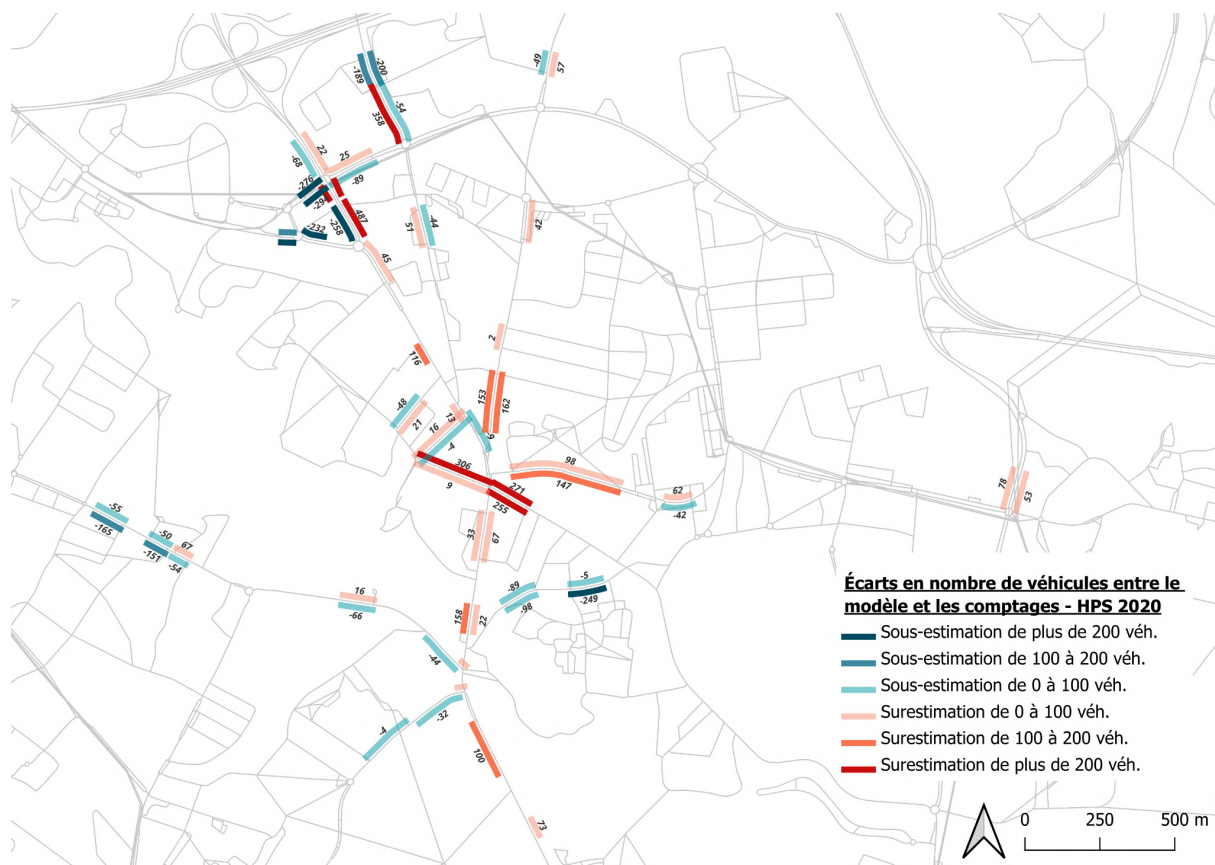


FIGURE 11. Carte de comparaison des écarts entre les données du modèle et les comptages en HPS (Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Dans le cadre de notre étude sur la route de Rennes, **le recalage a été arrêté à l'issue de six itérations.** Bien que ce recalage soit considéré satisfaisant au vu des modifications structurantes réalisées, il n'est pas sans quelques limites. En effet, il a été nécessaire de composer avec les données disponibles : des comptages additionnels, notamment directionnels, auraient été bénéfiques, mais la conjonction entre l'échéance de l'étude, les moyens financiers alloués et la période estivale non optimale pour des interventions de ce type n'a pas permis leur réalisation.

Ainsi, dans un délai moins contraint, **un vrai potentiel d'enrichissement de ce recalage existe** et il peut être illustré au travers d'autres études auxquelles j'ai participé.

SYSTÈME DE LECTURE AUTOMATISÉE DES PLAQUES D'IMMATRICULATION (LAPI)

Commanditaire : Ville d'Angers et ville de Rennes

Périmètre d'étude : Angers et Rennes

Objectif : Cartographier les places de stationnement notamment dans une logique de gestion et de contrôle du parc de stationnement payant

Outil structurant : QGIS

Travail réalisé :

- Mise à jour et extension de la base de données : création de polygones et saisies des données attributaires sur la base de photographies sur le terrain ou d'ortho photo

ÉTUDE DE COMPOSITION URBAINE

Commanditaire : Brest Métropole

Périmètre d'étude : Port de Brest

Objectif : Développer l'intermodalité pour améliorer, fluidifier l'accessibilité du port et favoriser le développement de tous ses usages et fonctions

Outil structurant : Enquête de stationnement

Travail réalisé :

- Exploitation et analyse d'une enquête de stationnement (cartographie de l'offre et de la réglementation et cartographie animée de l'évolution horaire de la congestion)
- Réalisation d'un support de présentation synthétique sur l'enquête

ÉTUDE D'OPPORTUNITÉ GLOBALE

Commanditaire : Lorient Agglomération

Périmètre d'étude : Agglomération de Lorient

Objectif : Réalisation d'une étude d'opportunité globale pour l'aménagement et l'organisation future des services de transports terrestres et maritimes

Outils structurants : Enquête usagers et EMC²

Travail réalisé :

- Dépouillement d'une enquête usagers des bateaux-bus
- Exploitation statistique et cartographique des résultats de cette enquête usagers
- Exploitation de l'EMC² pour étudier les parts modales et les motifs de déplacements avec réalisation de cartes de flux

Considérées indépendamment, ces interventions constituent des « petites missions annexes » à mon travail sur le modèle, mais tout comme mon analyse d'EMC² **ces missions peuvent représenter de vrais apports à la qualité du calage d'un modèle**. En effet, caler un modèle uniquement sur des données de comptages routiers est loin d'être exhaustif, mais la donnée parfaite « qui fait tout » n'existe pas : il faut **tirer parti de la richesse de différentes sources de données pour combler les lacunes**. En ce sens, les missions réalisées sont de parfaits exemples avec 3 études différentes, 3 types de données différentes et 3 apports différents (**Tableau 4**) :

Mission	Mise à jour des BDD LAPI	Enquête stationnements sur le port de Brest	Enquêtes usagers à Lorient
Apport	Caractérisation de l'offre et du maillage territorial du stationnement	Caractérisation de la demande et de l'utilisation réelle du stationnement	Caractérisation des comportements et des opinions
Intérêt opérationnel potentiel pour le calage	Mise à jour de l'indice de pression de stationnement propre à chaque zone		Ajuster une matrice de distribution ou les fonctions d'utilité du choix modal

TABLEAU 4. Intérêt des missions réalisées dans le cadre du calage d'un modèle de déplacements
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

Au travers des données qu'elles mobilisent, ces missions constituent donc un réel apport non seulement pour le calage, mais également pour le processus de modélisation de manière plus globale. En effet, les enseignements qu'elles fournissent tout en complémentarité, contribuent à la mise en place de scénarios prospectifs adaptés aux réalités et aux besoins des usagers.

2.4. Des scénarios à la stratégie : transformer le modèle en outil de décision

Le modèle de déplacements étant désormais opérationnel, il peut être utilisé pour évaluer des projets. Pour cela, plusieurs types de situations sont simulés :

- Les **situations dites de référence** qui transcrivent la réalité conformément au calage pour les situations « actuelles ». Dans le cas de références à des horizons futurs, ces situations de référence intègrent les éléments « déjà joués » conformément aux projets urbains en cours ou la concrétisation des politiques publiques actuelles comme des hypothèses comportementales remplissant les objectifs du PDU. Peu importe l'horizon considéré, ces situations de référence servent de points de comparaison pour évaluer les impacts des projets testés.
- Les **scénarios prospectifs** constitués spécialement pour les besoins d'études. Pour l'étude de la route de Rennes, deux scénarios modifiant les hypothèses des situations de référence (données socio-économiques, parts modales cibles, etc.) ont ainsi été développés pour tester l'impact de stratégies de développement urbain différentes. Ces scénarios ont été ensuite

déclinés en sous-scénarios qui intègrent des modifications de l'offre de transport (routière et de transport en commun) afin d'évaluer et de comparer les impacts circulatoires respectifs de plusieurs stratégies de plans de circulation.

La construction des quatre sous-scénarios considérés a fait l'objet d'études distinctes, extérieures à Egis, et se sont basées sur des diagnostics territoriaux, de la concertation, etc. Dans le cadre de l'étude de modélisation, il s'agit donc de transcrire ces scénarios de manière opérationnelle dans le modèle. J'ai ainsi réalisé le **codage des mutations de l'offre de transport des scénarios**. Concrètement, cela implique la modification :

- Des caractéristiques des tronçons des réseaux routiers et cyclables (mise en sens unique, couloirs bus, interdiction de circulation VP, nouvelles voies, etc.) ;
- Des itinéraires des lignes transports en communs urbaines et régionales ;
- Des fichiers de pénalités aux intersections.

Dans un contexte où les plans de circulation fournis sont parfois bien plus schématiques que le réseau du modèle, il faut veiller à considérer l'ensemble des mouvements possibles, à assurer la continuité des aménagements cyclables. Cette tâche requiert donc une **grande vigilance afin de garantir la cohérence spatiale et la fiabilité des scénarios simulés**.

Le modèle est désormais prêt à tester chaque scénario et, après exécution, il fournit une représentation chiffrée des flux de déplacements sur le périmètre étudié. Toutefois, le travail avec le modèle, au vu de ses étapes fastidieuses, peut vite devenir mécanique voir abstrait. C'est pourquoi **il est essentiel de changer de focale : au-delà du simple regard du modélisateur, l'approche doit être enrichie par le dialogue avec les autres parties prenantes**. Ces échanges, notamment lors des nombreuses réunions et Comités Techniques (COTECH) auxquels j'ai participé et qui ont ponctué l'étude, permettent de se replacer dans le contexte réel.

En effet, l'approche quantitative et technique du modèle, bien qu'instructive, ne prétend pas remplacer l'évaluation globale des scénarios. Elle vise au contraire à **l'enrichir en fournissant des éléments solides pour nourrir la discussion entre acteurs**. Ainsi, les COTECH constituent des moments clés où l'avancement de la modélisation et les résultats du modèle sont présentés. Il importe cependant de veiller à ce que l'aspect technique du modèle ne soit pas une façon d'instituer une confiscation du débat par les experts au détriment des non-spécialistes. Pour cela, **la pédagogie est primordiale. Il faut être capable de vulgariser la démarche tout en conservant la pertinence des résultats**. Le développement d'une culture de la modélisation passe notamment par une meilleure lisibilité des résultats. La cartographie joue un rôle essentiel en visualisant et en spatialisant les données.

Diverses cartes (niveaux de charge, saturations, chevelus, montées/descentes TC, etc.) sont produites pour aider à comprendre les dynamiques du territoire. Ces représentations visuelles complètent les données chiffrées (tableaux de charges des flux TC journaliers, de schémas précisant les mouvements directionnels aux carrefours, etc.) qui, elles, permettent d'objectiver les observations et de comparer les scénarios.

Pour autant, **un COTECH ne se résume pas à une restitution technique : c'est un véritable moment de co-construction du projet. Les autres acteurs, même non-spécialistes, ont beaucoup à apporter**. Ils possèdent une connaissance fine et informelle du territoire qui peut se révéler essentielle pour comprendre les résultats de la modélisation.

Cette **mobilisation de l'intelligence collective** permet d'interpréter les implications réelles derrière des données de congestion ou des variations de trafic. Chaque participant, grâce à son rôle et à son

expertise, apporte un point de vue différent. En combinant ces perspectives, une synergie se crée, permettant de mieux comprendre le territoire, ses problématiques et les résultats de la modélisation.

Ainsi, le modèle n'est pas qu'un simple outil pour répondre à des questions précises : il est aussi et surtout un processus qui permet de se poser les bonnes questions. Ces deux perspectives, bien qu'opposées, se complètent et c'est précisément dans cette complémentarité que réside toute la pertinence de la modélisation en tant qu'aide à la décision.

Bien que je n'aie pas eu l'opportunité d'aborder directement **l'intégration de la modélisation dans le processus d'aide à la décision** pour cause de calendrier, il s'agit d'une étape essentielle.

Les résultats du modèle de déplacements peuvent être utilisés en complément à d'autres d'analyses (sociales, économiques, etc.) ou pour alimenter des modèles complémentaires à l'image de modèles environnementaux d'évaluation des niveaux sonores ou des émissions de polluants et de GES. Le recours à un modèle de micro-simulation peut également permettre d'affiner l'analyse et de pallier certaines limites du modèle statique utilisé dans l'étude comme exposé dans le **tableau 5** :

	Modèle de Nantes	Modèle de micro-simulation
Échelle d'analyse	Macro et globale (ex. réseau urbain)	Micro et locale (ex. carrefours)
Représentation	Flux agrégés (charges TV, etc.)	Entités individuelles (véhicules, piétons, etc.)
Temporalité	Statique (état moyen à une heure de pointe ou sur une journée type)	Dynamique (évolution minute/minute, etc.)
Phénomènes captés	Répartition modale et spatiale, volumes globaux, tendances	Écoulement, propagation des congestions, effets locaux des feux, insertion, interactions entre véhicules
Forces	Vision d'ensemble, rapidité de calcul, adapté aux grands scénarios	Grande précision locale, compréhension fine des dynamiques, test d'aménagements ou de régulations
Limites	Ne capte pas la dynamique temporelle, peu de détails locaux	Très gourmand en données et en calcul, difficile à calibrer à grande échelle
Complémentarité	Ensemble, ils offrent une analyse multi-échelles : le modèle macro commence par fixer le cadre et la cohérence globale tandis que le modèle micro vient par la suite éclairer les points sensibles avec une vision dynamique.	

TABLEAU 5. Comparaison modèle statique et modèle dynamique
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

L'objectif est de multiplier les perspectives d'analyse afin de prendre la décision la plus éclairée possible. L'ensemble de ces enseignements est exposé aux décideurs stratégiques du projet (élus, partenaires institutionnels, etc.) lors du comité de pilotage (COPIL).

Contrairement au COTECH qui est une instance opérationnelle, le COPIL est une instance de validation stratégique : concrètement **le COTECH prépare et éclaire tandis que le COPIL décide**. Le rôle des

membres du COPIL est d'analyser les résultats présentés pour valider les grandes orientations et les choix qui engagent l'avenir du projet.

Dans ce contexte, la présentation des résultats de modélisation exige un important **travail de simplification et de sélection**. La communication doit se concentrer sur les grands enseignements et les tendances majeures, en filtrant les détails techniques pour se focaliser sur l'essentiel à l'arbitrage d'un scénario.

C'est ainsi que s'achève la phase de modélisation pour ce projet. Toutefois, le scénario retenu aujourd'hui deviendra la situation de référence de demain, alimentant ainsi une prochaine modélisation et le prochain calage. **La modélisation n'est pas un phénomène linéaire qui s'arrête une fois un objectif atteint, mais un processus cyclique et continu qui s'auto-alimente et s'enrichit au fil du temps**. Chaque exercice de modélisation constitue donc à la fois une finalité pour l'étude en cours et un point de départ pour les travaux à venir.

2.5. Perspectives

Pour envisager ces futures modélisations, il est pertinent de s'intéresser aux perspectives d'évolution de la modélisation des mobilités.

Depuis la fin des années 2010, de **nouveaux types de données ont émergé** en lien avec l'utilisation globalisée d'objets connectés par les individus. Ces dernières années, ces données numériques (données issues des antennes de téléphonie mobile, données des capteurs Bluetooth et Wifi, les traces GPS des véhicules (FCD) ou des applications mobiles) ont ainsi suscité un vif intérêt chez les modélisateurs notamment au vu de leur caractère massif et de leur fréquence régulière d'acquisition qui constituent de sérieux atouts pour des données d'entrée de calage par exemple (Cerema, 2022).

Toutefois, comme le souligne une étude du Cerema sur les pratiques européennes et mondiale, les données numériques massives sont complémentaires des enquêtes de mobilité, mais à l'heure actuelle, elles ne sont pas capables de fournir des renseignements de même type (*Les Enquêtes Mobilité Certifiées Cerema (EMC²) : Le Guide Méthodologique | Cerema, s. d.*). **L'exploration du potentiel de ces nouvelles sources de données passe donc par l'exploration de leur potentiel d'hybridation avec les données usuelles de référence (EMC², etc.)**. Cela signifie également que ces données de modélisation plus conventionnelles ont encore un fort potentiel d'exploitation.

En lien avec la politique d'innovation d'Egis et notamment son axe stratégique portant sur l'ingénierie 4.0, **le Machine Learning ouvre des perspectives prometteuses pour enrichir le traitement des EMC² réalisé au cours de ce stage**. Sans la remplacer, l'objectif serait d'approfondir l'analyse déjà menée grâce à des bibliothèques Python comme scikit-learn, afin de poursuivre l'exploration des comportements de mobilité.

Cette approche pourrait entre autres permettre de :

- Modéliser les éventuels liens entre les caractéristiques des territoires (typologie mais également densité, offre de transport, variables sociodémographiques, etc.) et les comportements de mobilité (temps de trajet, parts modales, etc.) En mobilisant l'apprentissage supervisé ;
- Prédire des potentialités de déplacements pour des territoires non encore étudiés ;
- Tester la robustesse des règles génériques établies, voire d'en découvrir de nouvelles grâce à une approche prédictive ;

- Traiter un volume beaucoup plus conséquent de données avec l'implémentation de nouvelles EMC² sur le plan spatial mais aussi temporel afin de pouvoir étudier les dynamiques ;
- Mobiliser des méthodes d'apprentissage non supervisé pour proposer une nouvelle classification des communes fondée directement sur les données observées, et ainsi de comparer cette typologie avec la typologie développée initialement.

3. RETOUR D'EXPÉRIENCE

Cette dernière partie a pour but de faire le point sur mon expérience de stage en fournissant un bilan des compétences acquises et un état des lieux de son impact sur mon développement professionnel, ainsi que les perspectives qui en découlent.

3.1. Bilan et compétences acquises

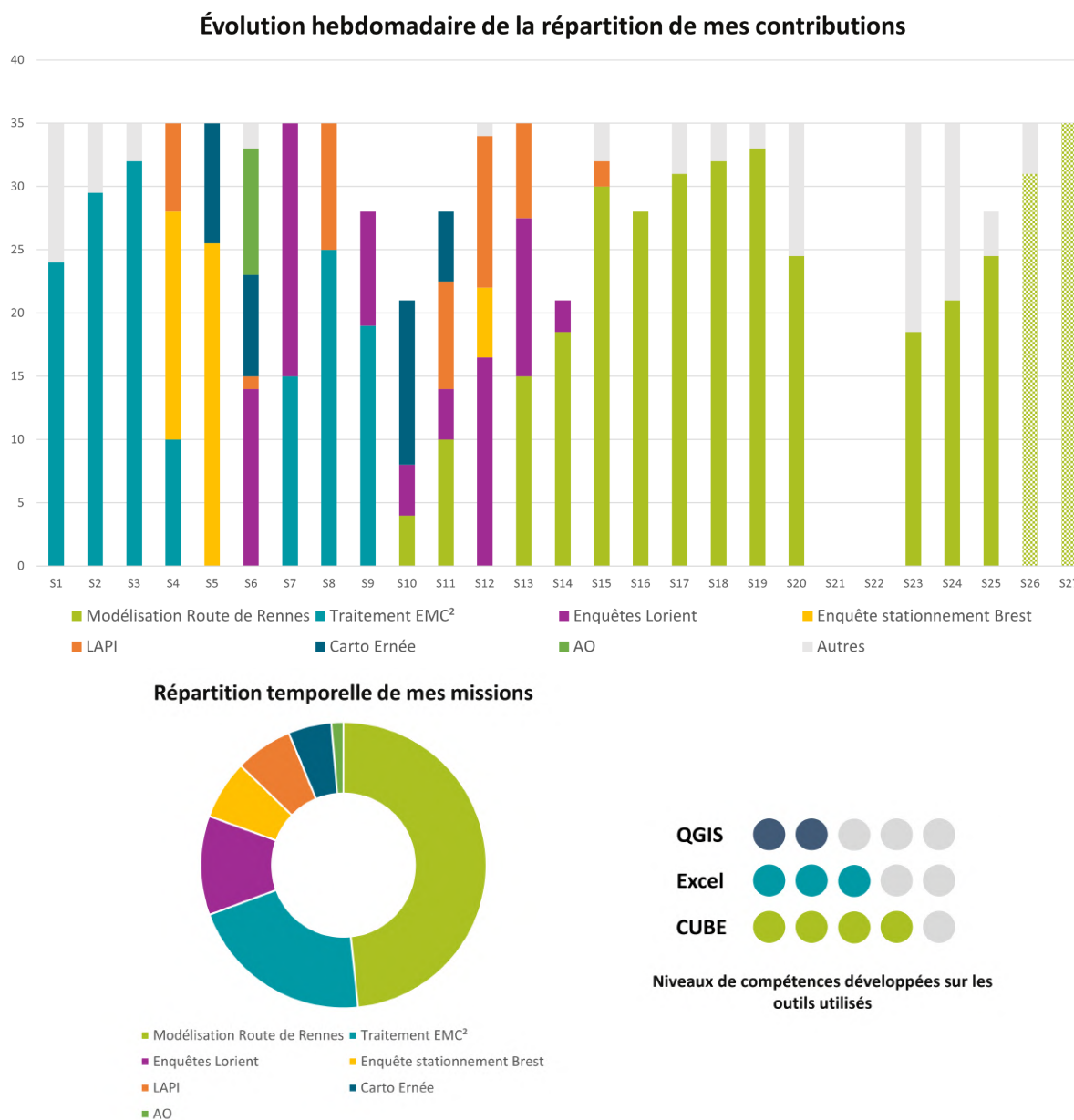


FIGURE 12. Bilan de mon stage

(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

→ Les semaines 21 et 22 ont été marquées par une interruption estivale de mon stage et les missions pour les semaines 26 et 27 ont été renseignées de manière prospective car non réalisées au moment de la rédaction de ce rapport

Au cours de ce stage, j'ai presque **exclusivement travaillé sur la réalisation d'études**, ma participation aux appels d'offres est restée très marginale et s'est limitée à une seule contribution.

Comme le souligne la **figure 12**, six études ont ponctué mon stage : cinq d'entre elles ont été présentées dans la partie précédente et la sixième (Ernée) s'intègre dans la continuité du travail cartographique réalisé dans l'ensemble des autres études. La section "Autres" regroupe les activités annexes (intégration, réunions d'équipe, rédaction de ce rapport, etc.).

L'étude de modélisation sur la route de Rennes se révèle être l'étude la plus structurante à plusieurs égards :

- Temporellement, près de la moitié du temps de mon stage a été consacré à sa réalisation ;
- En termes de gestion de projet, elle m'a permis de m'impliquer dans toutes les phases de l'étude et de participer aux différentes sessions d'échanges avec les parties prenantes ;
- Sur le plan des compétences, elle a été l'occasion d'acquérir une compréhension globale de la modélisation.

Les compétences développées au cours de ce stage ne se limitent cependant pas à cette étude et sont aussi bien techniques que transversales.

- **Compétences techniques développées :**
 - **CUBE** → découverte et prise en main du logiciel et de son langage de programmation
 - **Excel** → approfondissement de ma maîtrise d'Excel grâce à différentes fonctionnalités qui se sont révélées cruciales pour mes missions d'exploitation de bases de données : mise en forme conditionnelle, tableaux croisés dynamiques ou encore les formules de recherche avancées (RECHERCHEV, etc.)
 - **QGIS** → appréhension de l'environnement de travail de QGIS après avoir majoritairement travaillé sur ArcGIS durant mon cursus et automatisation de mises en page via la création d'atlas
- **Compétences transversales relatives à la gestion de projet :** rédaction de support, travail collaboratif et communication avec mon équipe pour avancer sur les différentes études, que ce soit pour le partage de données, la résolution de problèmes ou la coordination des tâches.

3.2. Analyses et perspectives d'évolutions professionnelles

Le Département d'Aménagement et d'Environnement propose une formation pluridisciplinaire qui, selon moi, constitue une véritable force. Elle permet de développer des compétences transversales, une ouverture d'esprit et une sensibilité à un large spectre de thématiques. **Cette polyvalence offre une grande flexibilité** pour s'adapter à différents contextes professionnels. En toute logique, elle ne se traduit donc pas par un domaine d'expertise clairement défini. Les forces de la formation peuvent ainsi se révéler être une source d'incertitudes face à sa concrétisation dans le monde professionnel. Une question s'est donc imposée au fil de mon parcours : comment transformer ce diplôme généraliste en un véritable atout professionnel concret ? **Face à cette diversité de débouchés, trouver sa voie peut être difficile.**

Dans cette réflexion, ce stage constitue une expérience très enrichissante qui, croisée avec mes autres stages, est pleine de leçons.

Jusqu'à présent, mes expériences professionnelles ont été exclusivement centrées sur le domaine des transports. Cependant, la confrontation entre ces stages et mes projets académiques, en particulier mon projet de fin d'études, m'a montré que **je suis plus attachée à une démarche qu'à un domaine spécifique**. Que ce soit sur des projets de transports, de gestion d'eau ou d'aménagement, ma préférence va invariablement vers l'analyse, l'exploitation et la mise en valeur de ces données, notamment à travers leur transcription cartographique, afin d'en tirer des enseignements.

Mes stages m'ont également permis d'expérimenter différentes échelles d'intervention. J'avais déjà contribué, l'année dernière, à des projets relevant de l'échelle microscopique. J'ai confirmé ici **ma préférence pour des travaux à l'échelle mésoscopique, voire macro**, qui permettent une compréhension plus globale. De la même manière, j'ai pu intervenir à plusieurs phases d'un projet, de sa conception (cf. études de modélisation) à son exploitation (cf. stage 4A). J'ai constaté ainsi **un attrait plus marqué pour les phases amont** : études préliminaires, prospective, cadrage. Ces moments offrent une liberté d'analyse et de propositions que j'ai particulièrement appréciée. Un autre enseignement de ce stage concerne l'organisation du travail. **J'ai préféré me consacrer pleinement à une mission** comme ce fut le cas en tout début et dans la seconde moitié de mon stage plutôt que de naviguer entre plusieurs sujets aux courts délais.

Ces observations m'ont menée à un constat simple : je dois effectuer un **travail d'introspection pour clarifier mes envies et besoins professionnels**. Ce cheminement, complexe mais essentiel, m'a conduit à envisager une voie que je n'avais que peu envisagée jusqu'à présent : la **recherche**. Mon projet de fin d'études sur les îlots de chaleur urbains a été un véritable catalyseur. J'ai pris plaisir à approfondir ce sujet et à appréhender le travail de recherche, ce qui m'a amenée à considérer un doctorat.

Cette voie me semble particulièrement attrayante pour plusieurs raisons. Elle offre une liberté intellectuelle et une autonomie qui correspondent mieux à mes aspirations. C'est l'opportunité de s'investir complètement dans un seul sujet, de tester des méthodes, de remettre en question les acquis et de prendre le temps d'approfondir des pistes théoriques. À l'inverse, le travail en bureau d'études m'est apparu marqué par la nécessaire rentabilité qui peut induire une certaine frustration face aux contraintes temporelles d'exécution et de composer avec le potentiel décalage entre ses convictions personnelles et les choix collectifs, entre les études que l'on voudrait faire et celles que l'on fait réellement. Ces aspects m'ont paru davantage comme des contraintes que comme des moteurs. Cela renforce mon **envie de poursuivre une réflexion sur l'opportunité de m'orienter vers la recherche, dans un cadre plus souple et en accord avec mes valeurs et ma méthodologie de travail**.

LEXIQUE ET TABLE DES SIGLES

Agrégation : Regroupement d'un ensemble de comportements individuels dans des classes homogènes. En modélisation des transports, on agrège essentiellement des comportements ou des zones géographiques (*Sétra, 2010*)

AO : Appel d'Offres

AOM : Autorités Organisatrices des Mobilités

BDD : Base De Données

BL : Business Line, entité organisationnelle d'Egis

CCP : Code de la Commande Publique

Chevelu : Carte des itinéraires empruntant le tronçon routier étudié, cette carte permet notamment de voir si le tronçon supporte du trafic local ou du transit

COPIL : Comité de pilotage, instance stratégique

COTECH : Comité technique, instance opérationnelle

CSE : Comité Social et Économique

DUERP : Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels

EDGT : Enquête de Déplacement Grand Territoire

EMD : Enquête Ménages-Déplacements

EDVM : Enquête Déplacements Ville Moyenne

FCD : Floating Car Data

HC : Heure Creuse, les périodes de moindre trafic, en dehors des heures de pointe (6h-7h + 9h-16h + 19h-20h)

HPM : Heure de Pointe du Matin, généralement entre 7h et 9h

HPS : Heure de Pointe de Soir, généralement entre 16h et 19h

Modes actifs : Moyens de déplacement qui nécessitent une activité physique de la part de l'utilisateur (Marche, vélo, etc.)

OD : Origine et Destination, dans le cadre d'un déplacement

PDU : Plan de Déplacements Urbains

RPS : Risques psychosociaux

R&D : Recherche et Développement

SL : Service Line, entité organisationnelle d'Egis

SST : Santé et Sécurité au Travail

TV : Tous Véhicules

VP : Véhicules Particuliers

Vitesse à vide : Vitesse pratiquée sur l'axe en l'absence de circulation

BIBLIOGRAPHIE

Base des aires d'attraction des villes 2020 | Insee. (s. d.). Consulté le 17 août 2025, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/information/4803954>

Base des bassins de vie 2022 | Insee. (s. d.). Consulté le 17 août 2025, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/information/6676988>

Base des unités urbaines 2020 | Insee. (s. d.). Consulté le 17 août 2025, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/information/4802589>

Base des zones d'emploi 2020 | Insee. (s. d.). Consulté le 17 août 2025, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/information/4652957>

Bonnel, P. (2002). *Prévision de la demande de transport* [Université Lumière - Lyon II]. https://theses.hal.science/tel-00268919/file/HDR_Bonnel_Patrick.pdf

Cerema (Éd.). (2022). *Collecte et utilisation de données de mobilité pour la modélisation des déplacements : Des enquêtes ménages-déplacements aux données massives*. Consulté le 9 août 2025, à l'adresse <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/593053/collecte-et-utilisation-de-donnees-de-mobilite-pour-la-modelisation-des-deplacements-des-enquetes-me>

Cerema (Éd.). (2024). *Les enquêtes mobilités certifiées Cerema (EMC²) : Principes méthodologiques*. Consulté le 10 août 2025, à l'adresse <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/600977/les-enquetes-mobilites-certifiees-cerema-emc2-principes-methodologiques>

Connaître les pratiques de mobilité des habitants d'un territoire rural | Cerema. (2024, 26 juin). Cerema. Consulté le 10 août 2025, à l'adresse <https://www.cerema.fr/fr/actualites/connaître-pratiques-mobilite-habitants-territoire-rural>

Innovation | EGIS. (s. d.). Consulté le 2 août 2025, à l'adresse <https://www.egis-group.com/fr/innovation>

La grille de densité 2019 | Insee. (s. d.). Consulté le 17 août 2025, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/information/2114627>

La grille de densité 2022 | Insee. (s. d.). Consulté le 17 août 2025, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/information/6439600>

Les enquêtes mobilité certifiées Cerema (EMC²) : le guide méthodologique | Cerema. (s. d.). Cerema. Consulté le 10 août 2025, à l'adresse <https://www.cerema.fr/fr/actualites/enquetes-mobilite-certifiees-cerema-emc2-guide>

Les Enquêtes Mobilité Certifiées Cerema : la méthodologie | Cerema. (s. d.). Cerema. Consulté le 12 août 2025, à l'adresse <https://www.cerema.fr/fr/actualites/enquetes-mobilite-certifiees-cerema-methodologie>

Les enquêtes mobilité EMC2 | Cerema. (s. d.). Cerema. Consulté le 17 août 2025, à l'adresse <https://www.cerema.fr/fr/activites/mobilites/connaissance-modelisation-evaluation-mobilite/enquetes-mobilite-emc2>

Modélisation des déplacements : quelles données utiliser ? (Par Cerema). (2024). [Diapositives]. Rendez-vous Mobilités du Cerema, France. https://www.cerema.fr/fr/system/files?file=documents/2024/09/modelerdvmodelisation_compilation.pdf

Notre vision stratégique. (s. d.). Consulté le 2 août 2025, à l'adresse <https://www.egis-group.com/fr/notre-vision-strategique>

Rapport d'activité 2024 | Egis. (s. d.). Consulté le 3 août 2025, à l'adresse <https://www.egis-group.com/fr/rapport-dactivite-2024>

Ruptures et mutations : quel bilan de la crise sanitaire de la Covid-19 sur les mobilités ? | Cerema. (s. d.). Cerema. Consulté le 10 août 2025, à l'adresse <https://www.cerema.fr/fr/actualites/ruptures-mutations-quel-bilan-crise-sanitaire-covid-19>

Sétra. (2010). *Calage et validation des modèles de trafic : Techniques appliquées à l'affectation routière interurbaine* (Cerema, Éd.). Consulté le 7 août 2025, à l'adresse <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/15852/calage-et-validation-des-modeles-de-traffic-techniques-appliquees-a-l-affectation-routiere-interurbai>

ANNEXE 1 - COMPARAISON DES ZONAGES EXISTANTS

ZONAGE	DESCRIPTION
Grille communale de densité à 4 niveaux (INSEE, 2019)	Classement des communes en fonction de la répartition de la population sur leur territoire en 4 niveaux : • Communes densément peuplées ; • Communes de densité intermédiaire ; • Communes peu denses ; • Communes très peu denses. <i>(La Grille de Densité 2019 Insee, s. d.)</i>
Grille communale de densité à 7 niveaux (INSEE, 2022)	Classement des communes en fonction de la répartition de la population sur leur territoire via un double niveau de caractérisation : • Communes densément peuplées ; ○ Grands centres urbains • Communes de densité intermédiaire ; ○ Centres urbains intermédiaires ○ Ceintures urbaines ○ Petites villes • Communes rurales. ○ Bourgs ruraux ○ Rural à habitat dispersé ○ Rural à habitat très dispersé <i>(La Grille de Densité 2022 Insee, s. d.)</i>
Aires d'attractions (INSEE, 2020)	Définit l'étendue de l'influence (= l'aire d'attraction) d'une commune sur les communes environnantes sur la base de critères de densité, de population totale et d'emplois. Une aire d'attraction est composée d'une commune-centre, d'un pôle et d'une couronne <i>(Base des Aires D'attraction des Villes 2020 Insee, s. d.)</i> + Approche fonctionnelle du territoire
Bassins de vie (INSEE, 2022)	Plus petit territoire sur lequel les habitants ont accès aux équipements et services les plus courants : la proximité se mesure en temps de trajet par la route <i>(Base des Bassins de Vie 2022 Insee, s. d.)</i> + Dimension fonctionnelle pertinente dans le cas d'études de mobilité
Zones d'emplois (INSEE, 2020)	Espace géographique à l'intérieur duquel la plupart des actifs résident et travaillent, et dans lequel les établissements peuvent trouver l'essentiel

	de la main d'œuvre nécessaire pour occuper les emplois offerts. Déterminé à partir des flux domicile-travail. <i>(Base des Zones D'emploi 2020 Insee, s. d.)</i> - Découpage pas assez fin pour notre analyse
Unités urbaines (INSEE, 2020)	Repose sur la continuité du bâti et le nombre d'habitants : une unité urbaine constitue alors une commune ou un ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) qui compte au moins 2 000 habitants. Au sein d'une unité urbaine, les communes sont classées en 3 types : - Ville-centre ; - Banlieue ; - Ville isolée. <i>(Base des Unités Urbaines 2020 Insee, s. d.)</i>

TABLEAU A1.1. Comparaison des différents zonages développés par l'INSEE
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

ANNEXE 2 - ÉVOLUTION DE LA CLASSIFICATION DES COMMUNES PAR TYPOLOGIE

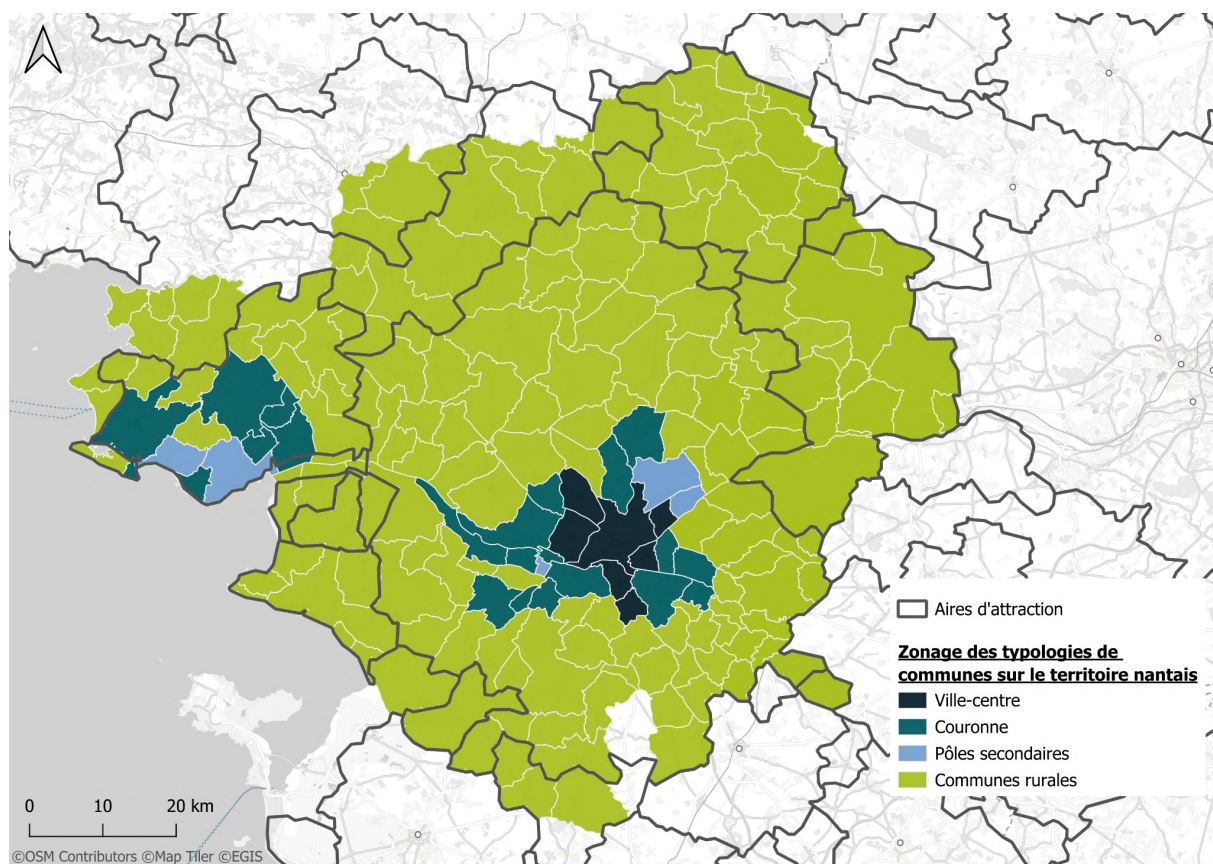


FIGURE A2.1. Première version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

CLASSIFICATION VERSION 1	
Ville-centre	Grands centres urbains de la grille de densité à 7 niveaux
Couronne	Ceintures urbaines de la grille de densité à 7 niveaux
Pôles secondaires	Centres urbains intermédiaires de la grille de densité à 7 niveaux
Communes rurales	Petites villes, bourgs ruraux, rural à habitat dispersé et rural à habitat très dispersé de la grille de densité à 7 niveaux

TABLEAU A2.1. Explication de la première version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

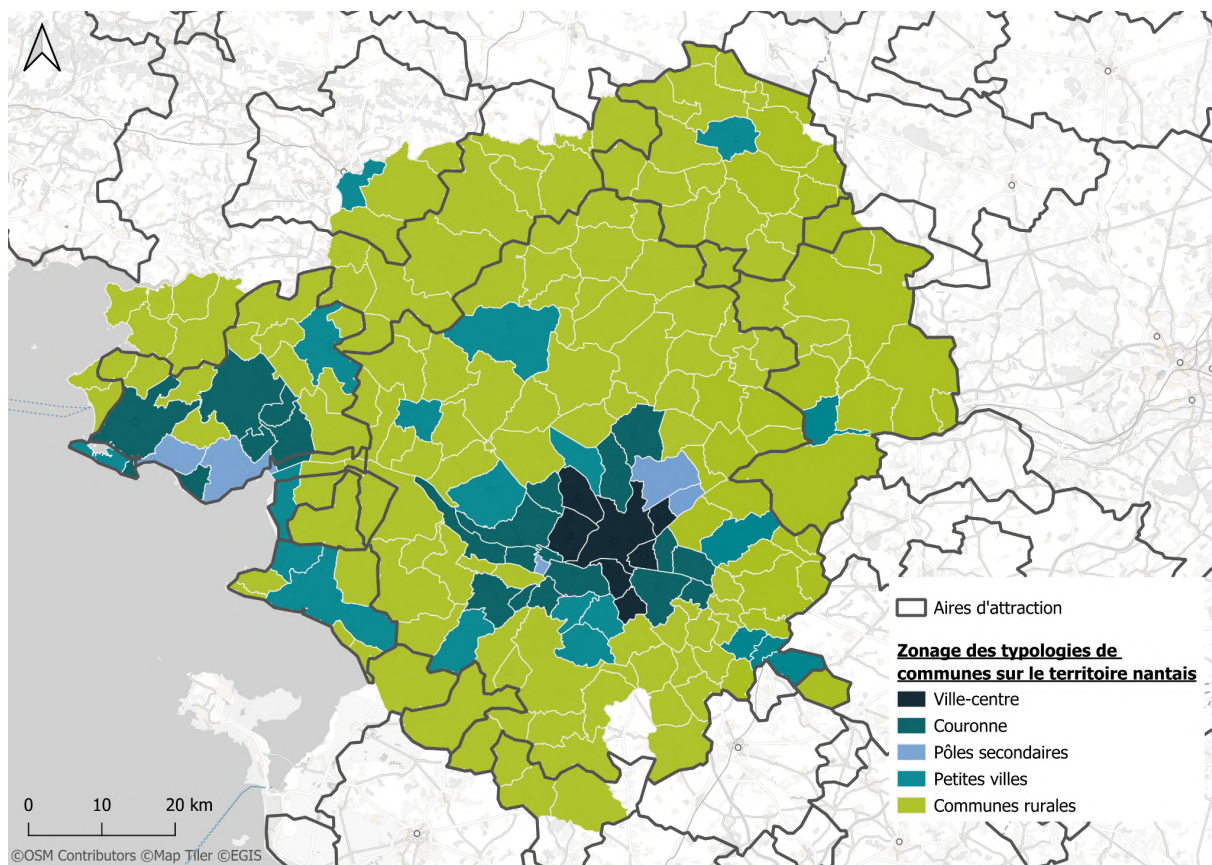


FIGURE A2.2. Seconde version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

CLASSIFICATION VERSION 2	
Ville-centre	Grands centres urbains de la grille de densité à 7 niveaux
Couronne	Ceintures urbaines de la grille de densité à 7 niveaux
Pôles secondaires	Centres urbains intermédiaires de la grille de densité à 7 niveaux
Petites villes	Petites villes de la grille de densité à 7 niveaux
Communes rurales	Bourgs ruraux, rural à habitat dispersé et rural à habitat très dispersé de la grille de densité à 7 niveaux

TABLEAU A2.2. Explication de la seconde version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

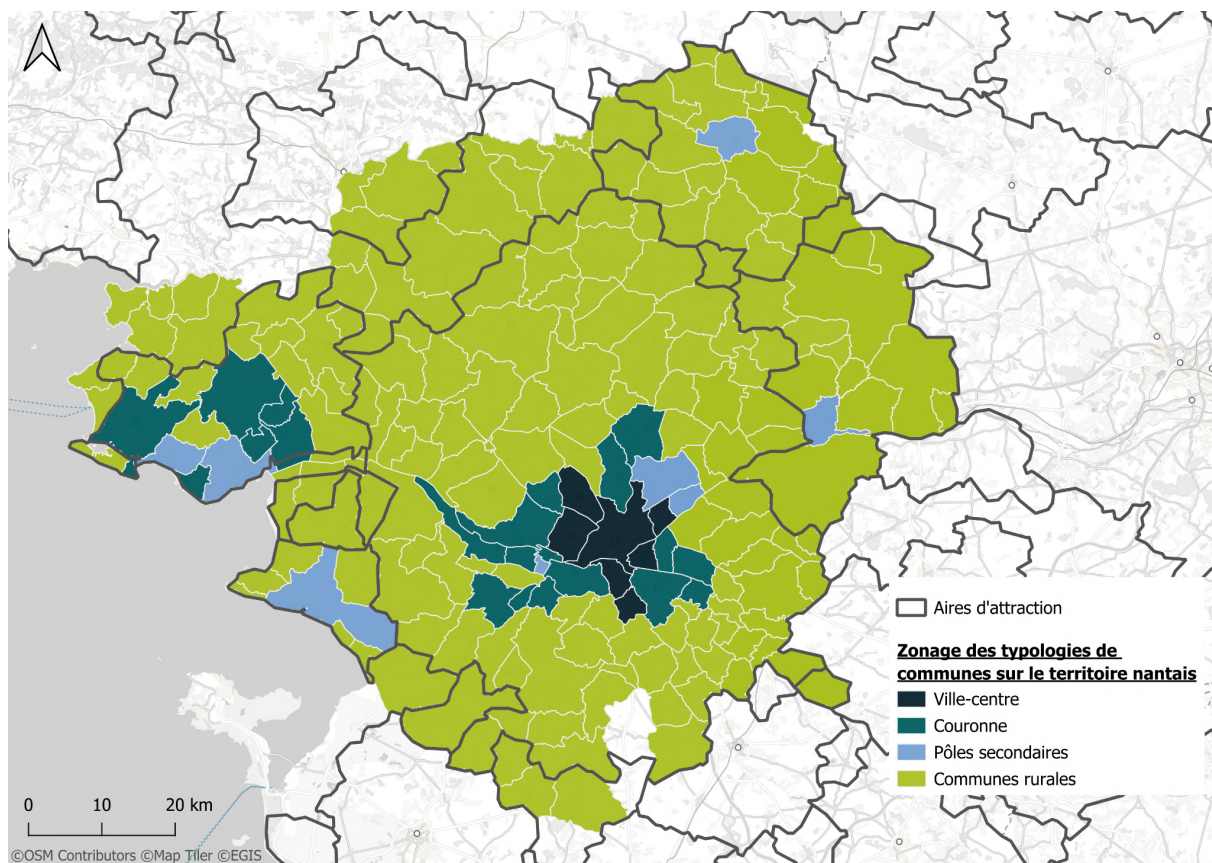


FIGURE A2.3. Troisième version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

CLASSIFICATION VERSION 3		
Ville-centre	Grands centres urbains de la grille de densité à 7 niveaux	
Couronne	Ceintures urbaines de la grille de densité à 7 niveaux	
Pôles secondaires	Centres urbains intermédiaires de la grille de densité à 7 niveaux	Si la commune est commune-centre de son aire d'attraction alors c'est un pôle secondaire sinon c'est une commune rurale
Communes rurales	Petites villes, bourgs ruraux, rural à habitat dispersé et rural à habitat très dispersé de la grille de densité à 7 niveaux	

TABLEAU A2.3. Explication de la troisième version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

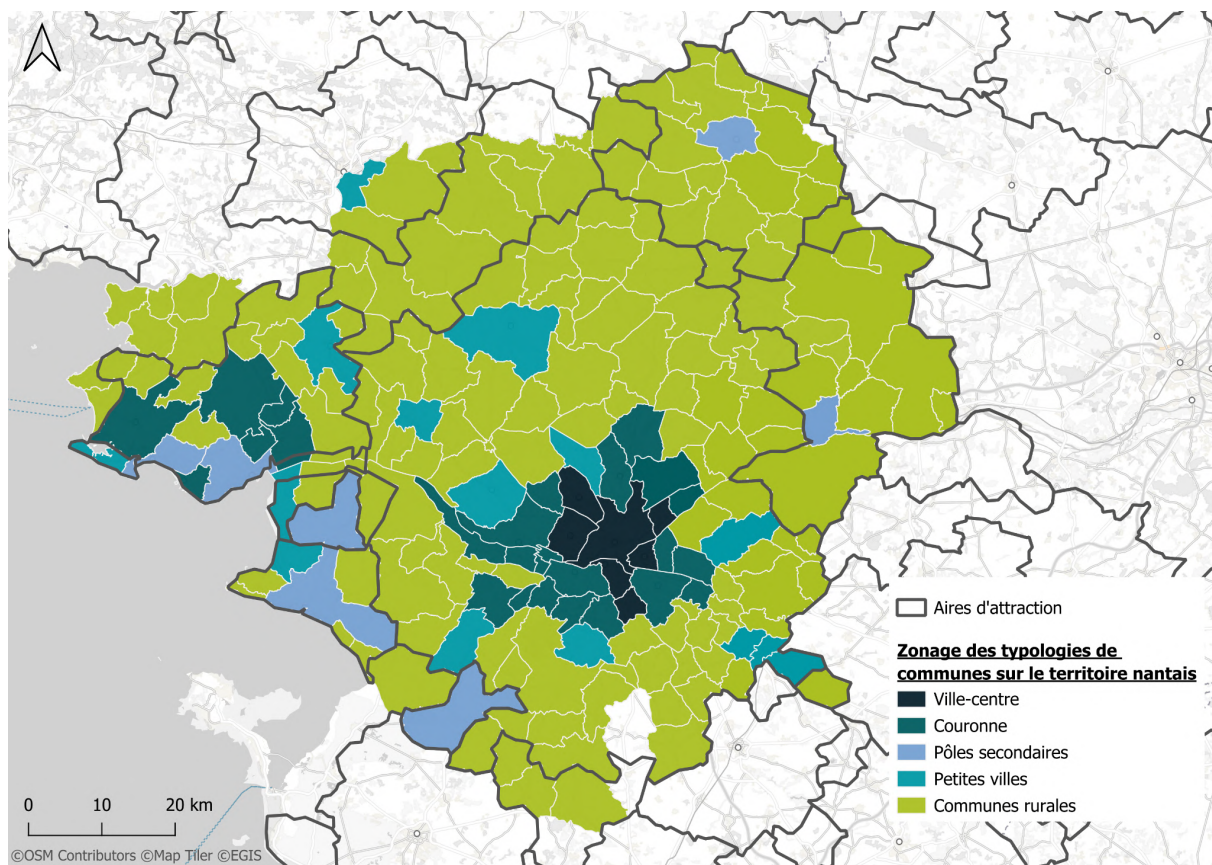


FIGURE A2.4. Quatrième version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

CLASSIFICATION VERSION 4		
Ville-centre	Grands centres urbains de la grille de densité à 7 niveaux	
Couronne	Ceintures urbaines de la grille de densité à 7 niveaux	Toute l'unité urbaine d'une ville-centre constitue sa périphérie.
Petites villes	Petites villes de la grille de densité à 7 niveaux	
Pôles secondaires	Centres urbains intermédiaires de la grille de densité à 7 niveaux	Si la commune est commune-centre de son aire d'attraction alors c'est un pôle secondaire sinon c'est une commune rurale
Communes rurales	Petites villes, bourgs ruraux, rural à habitat dispersé et rural à habitat très dispersé de la grille de densité à 7 niveaux	

TABLEAU A2.4. Explication de la quatrième version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

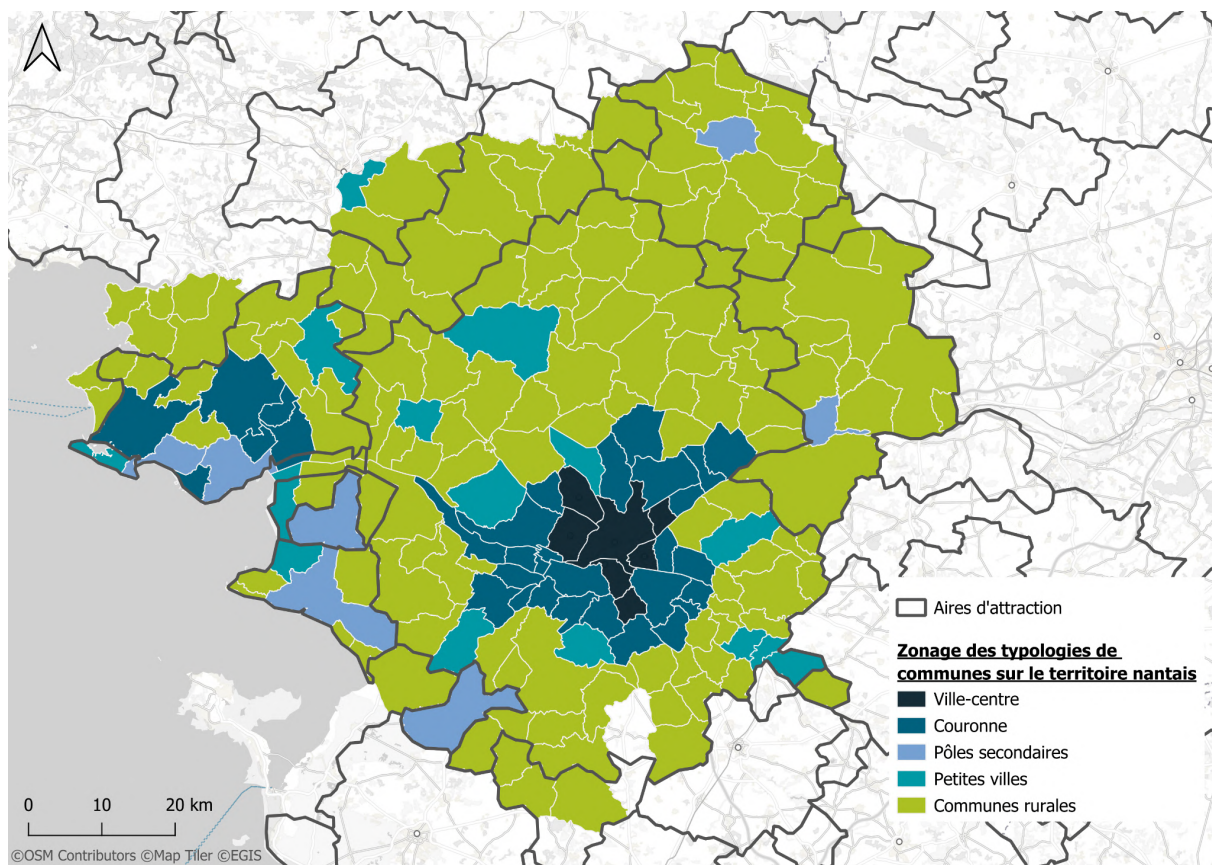


FIGURE A2.5. Cinquième version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

CLASSIFICATION VERSION 5		
Ville-centre	Grands centres urbains de la grille de densité à 7 niveaux	
Couronne	Ceintures urbaines de la grille de densité à 7 niveaux	Tout le bassin de vie d'une ville-centre constitue sa périphérie.
Petites villes	Petites villes de la grille de densité à 7 niveaux	
Pôles secondaires	Centres urbains intermédiaires de la grille de densité à 7 niveaux	Si la commune est commune-centre de son aire d'attraction alors c'est un pôle secondaire sinon c'est une commune rurale
Communes rurales	Petites villes, bourgs ruraux, rural à habitat dispersé et rural à habitat très dispersé de la grille de densité à 7 niveaux	

TABEAU A2.5. Explication de la cinquième version de la classification des communes par typologie
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

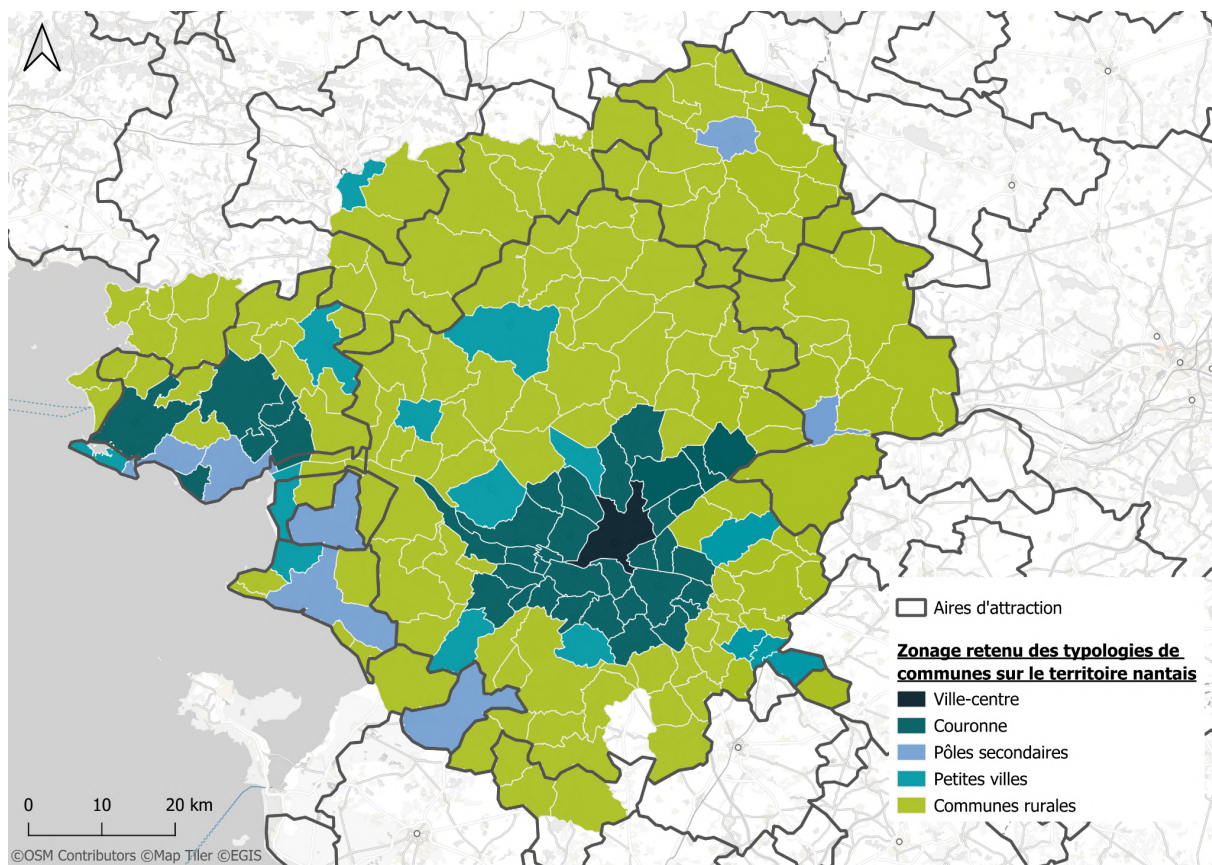


FIGURE A2.6. Classification des communes par typologie retenue
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

CLASSIFICATION RETENUE	
Ville-centre	- Brest, Angers, Nantes ou Rennes i.e. la ville principale
Couronne	- Ville-centre de la grille à 7 niveaux autres que Brest, Angers, Nantes ou Rennes i.e. la ville principale/majeure/structurante - Bassin de vie de la ville-centre - Ceintures urbaines de la grille à 7 niveaux
Pôles secondaires	- Commune-centre d'une aire d'attraction (sauf si ville-centre) - Centres urbains intermédiaires de la grille à 7 niveaux
Petites villes	- Petites villes de la grille à 7 niveaux qui ne sont pas commune-centre de leur aire d'attraction
Communes rurales	- Bourgs ruraux, rural à habitat dispersé et très dispersé de la grille à 7 niveaux

TABLEAU A2.6. Explication de la classification des communes par typologie retenue
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

ANNEXE 3 - INDICATEURS DE MOBILITÉS CALCULÉS

Pour chaque territoire et par chaque typologie de communes, les indicateurs de mobilités suivant ont été calculés :

- Parts modales ;
- Taux d'occupation des voitures ;
- Taux d'occupation des voitures pour les motifs domicile-travail ;
- Taux de mobilité i.e. le nombre de déplacements par jour par habitant ;
- Budget temps i.e. la durée totale de déplacements par jour par habitant ;
- Budget distance i.e. la distance totale parcourue par jour par habitant ;
- Volumes de déplacements ;
- Motifs origine ;
- Motifs destination ;
- Motifs orientés OD ;
- Répartition modale selon les motifs ;
- Distance par déplacements ;
- Distances selon motifs ;
- Distances selon modes ;
- Durée par déplacements ;
- Durée selon modes ;
- Durée selon motifs ;
- Répartition horaire des déplacements.

ANNEXE 4 - PROGRESSION DU CALAGE

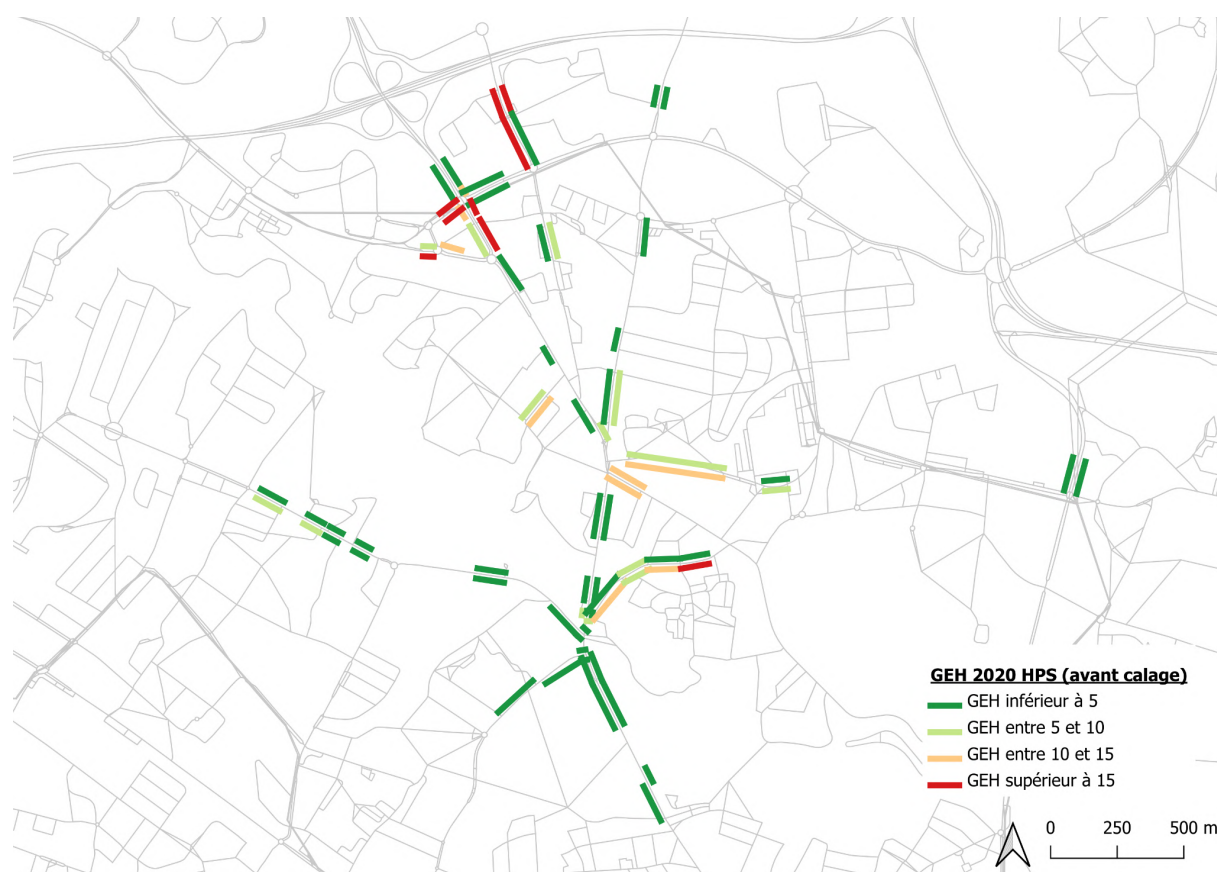


FIGURE A4.1. Carte des GEH en HPS de la situation de référence actuelle de l'étude avant le début du calage

(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

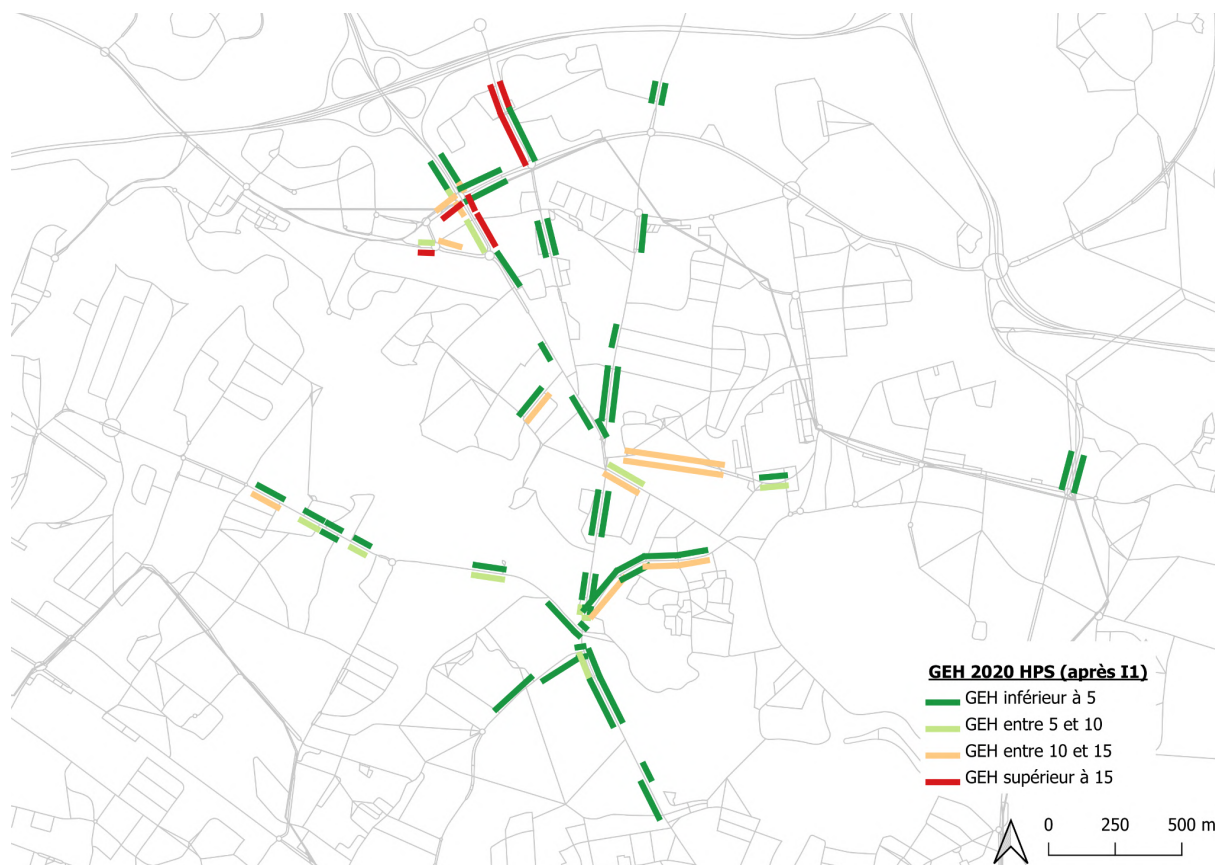


FIGURE A4.2. Carte des GEH en HPS de la situation de référence actuelle de l'étude après la première itération
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

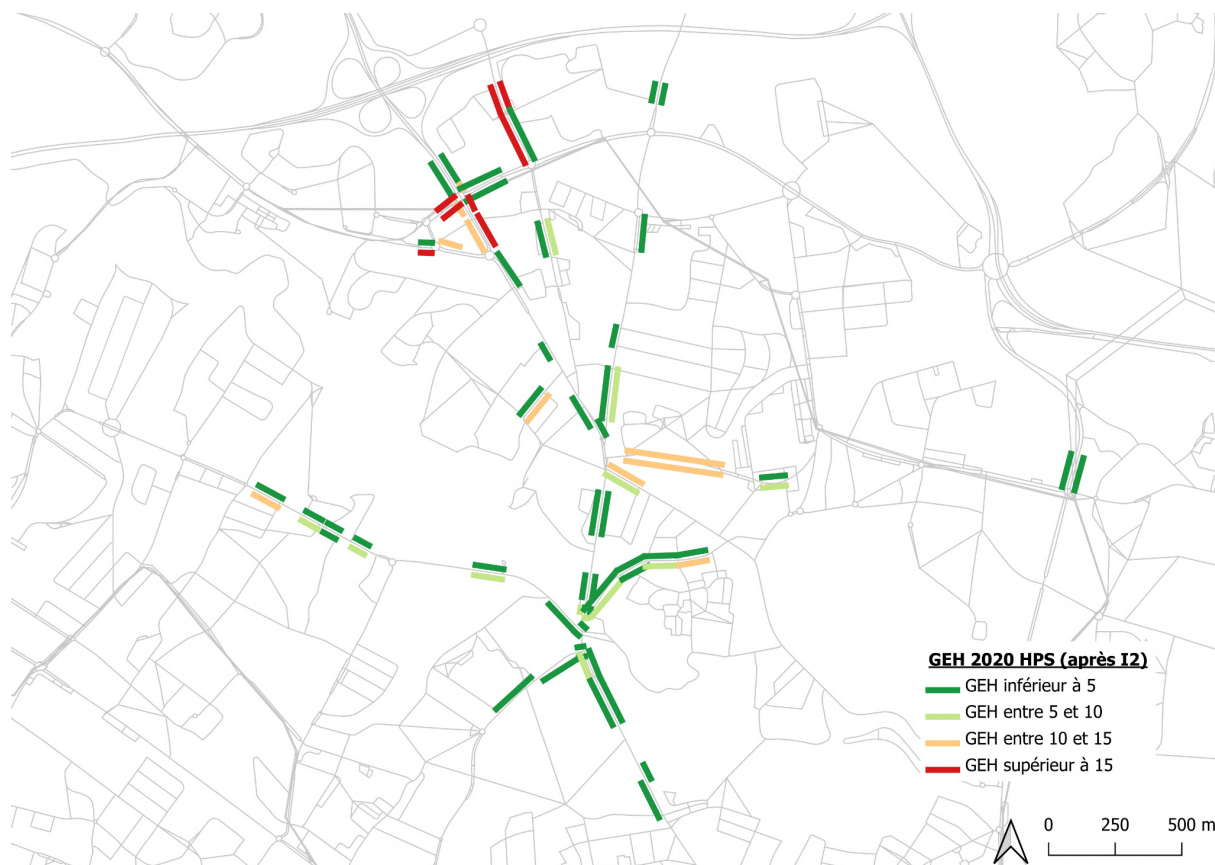


FIGURE A4.3. Carte des GEH en HPS de la situation de référence actuelle de l'étude après la deuxième itération
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

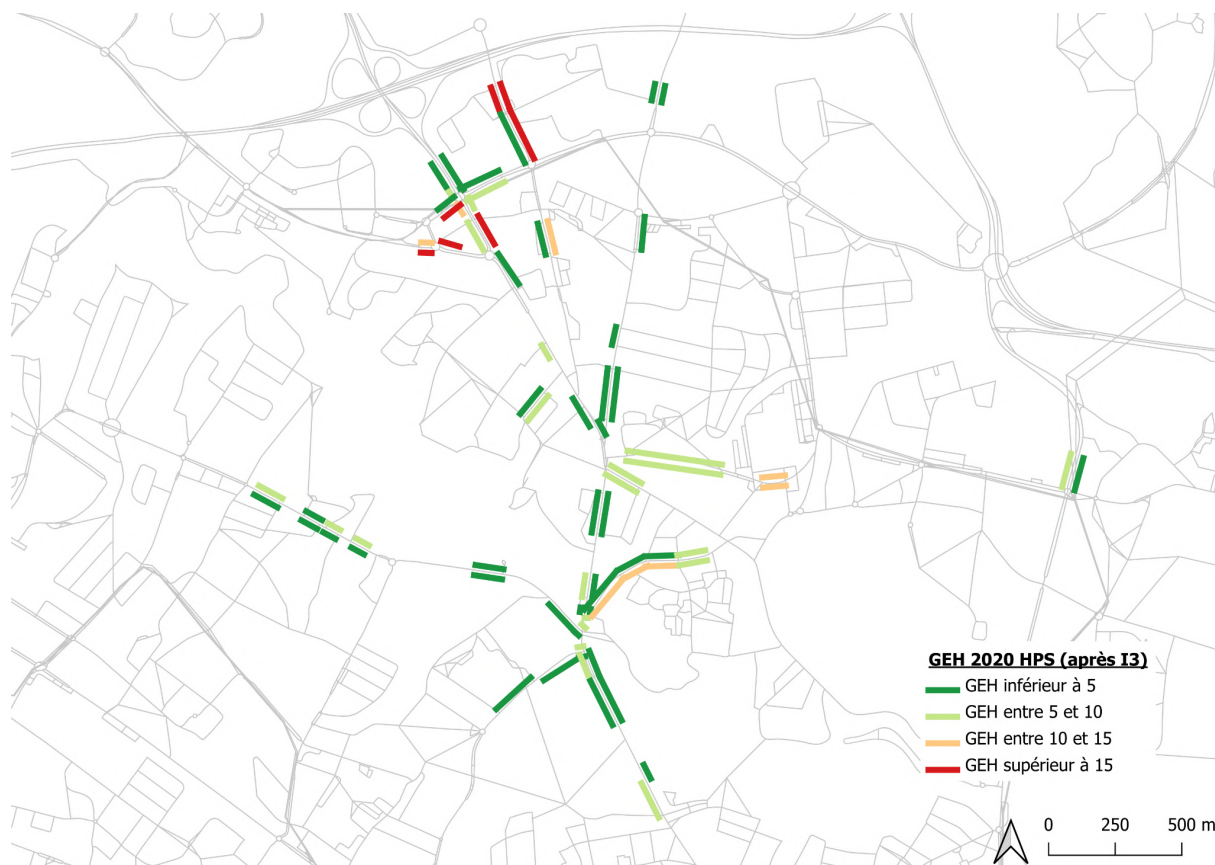


FIGURE A4.4. Carte des GEH en HPS de la situation de référence actuelle de l'étude après la troisième itération
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

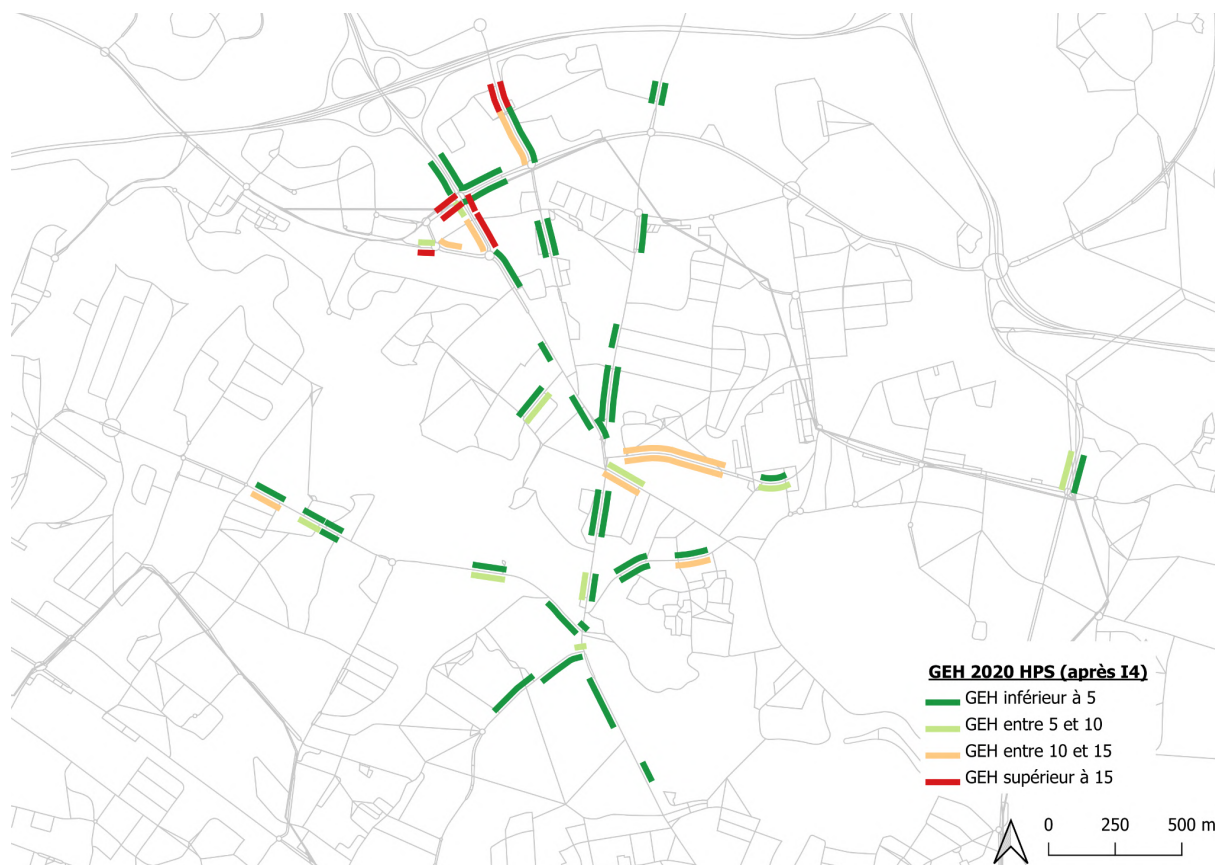


FIGURE A4.5. Carte des GEH en HPS de la situation de référence actuelle de l'étude après la quatrième itération
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

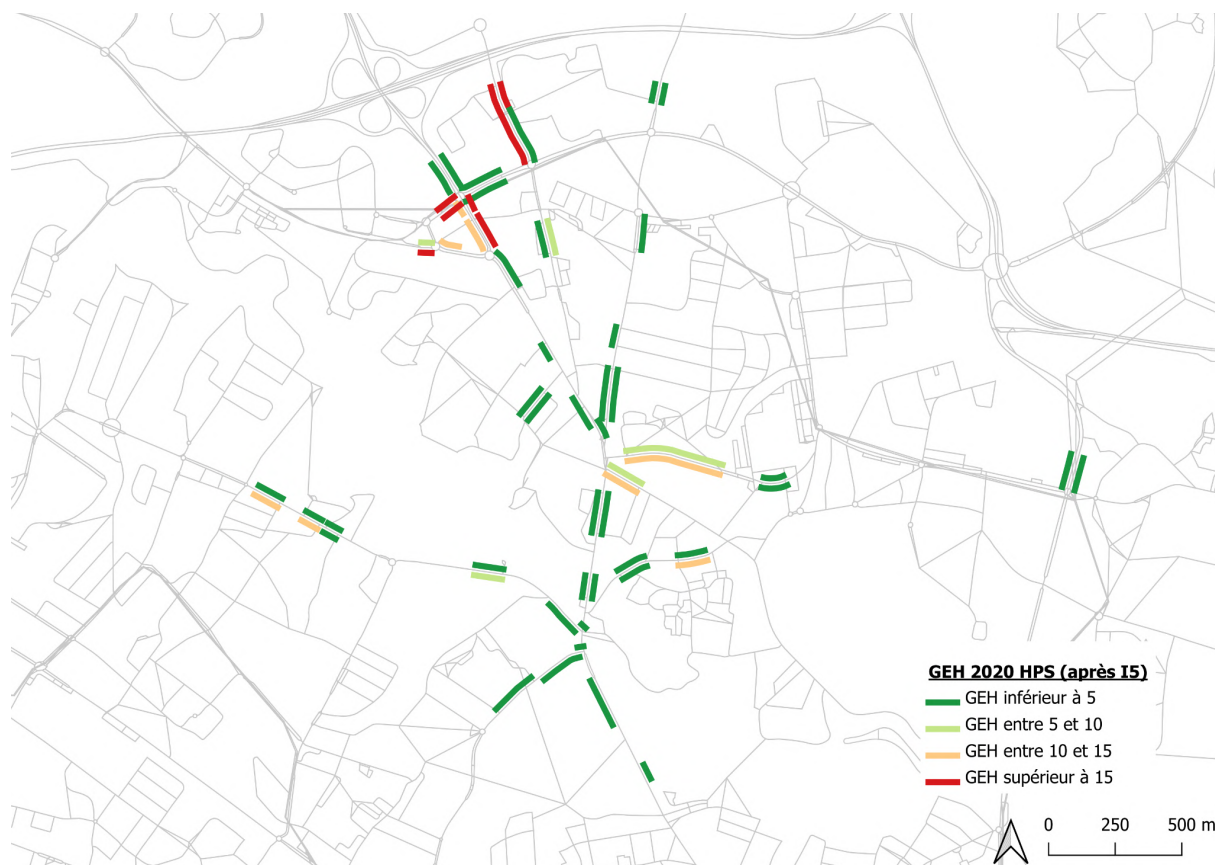


FIGURE A4.6. Carte des GEH en HPS de la situation de référence actuelle de l'étude après la cinquième itération
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)

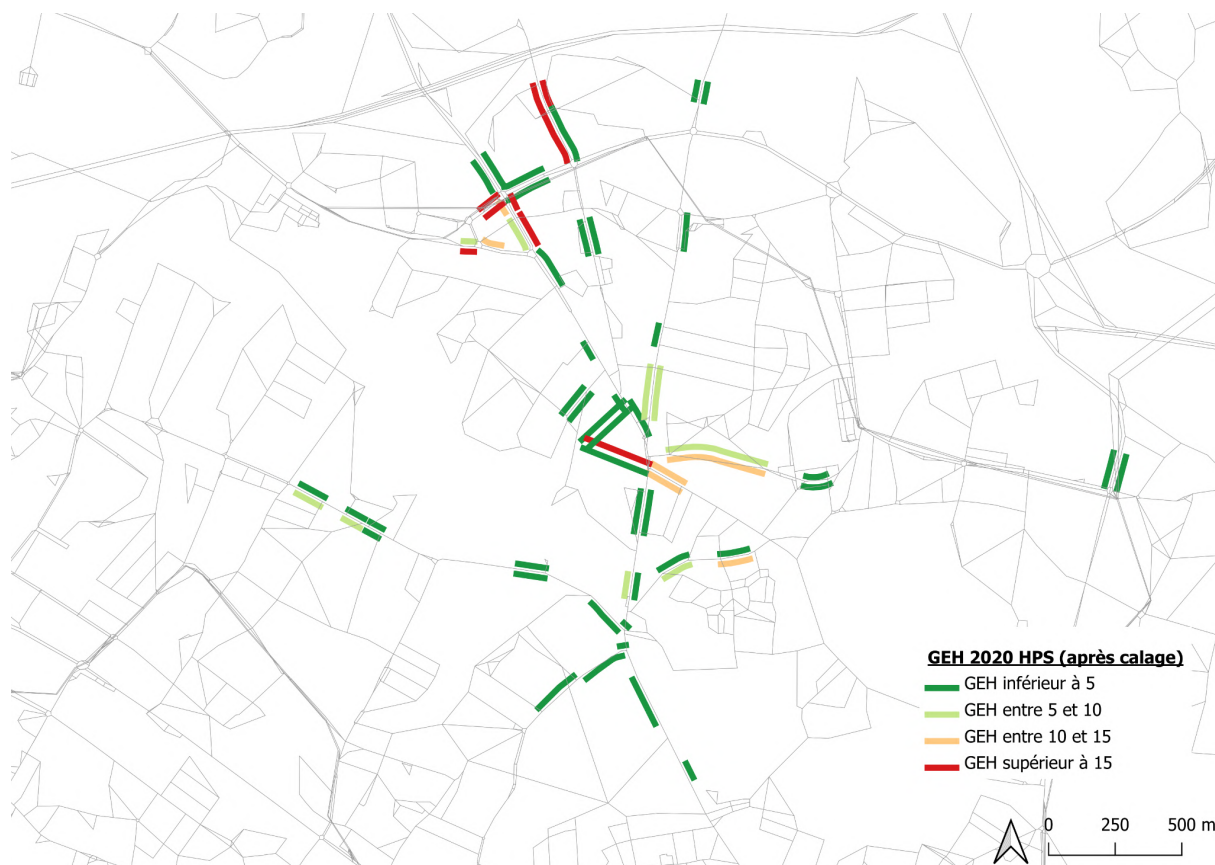


FIGURE A4.7. Carte des GEH en HPS de la situation de référence actuelle de l'étude après la sixième itération (itération finale)
(Auteure : Maëlys MAILLARD, 2025)



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Maëlys MAILLARD
IUT RESAU
2024-2025

Stage d'ingénieure d'études en mobilités

Résumé : Ce rapport est l'aboutissement d'un travail de 6 mois effectué au sein d'Egis sur le site de Nantes dans le cadre de mon stage de fin d'études pour l'obtention de mon diplôme d'ingénieure en génie de l'aménagement et de l'environnement.

Les missions réalisées en qualité de chargée d'études mobilités sont détaillées par le biais d'une problématique portant sur les apports de la modélisation dans la compréhension et la planification des mobilités. Une partie réflexive sur cette expérience vient conclure ce rapport.

Mots-Clés : Mobilités, Modèle de déplacements, Modélisation, EMC², Cartographie, Aménagement, Transport, Traitement de données, Calage

Abstract: This report is the result of six months of work carried out at Egis in Nantes as part of my end-of-studies internship to obtain my degree in environmental and urban planning engineering.

The tasks carried out as a mobility research officer are detailed through an issue concerning the contributions of modeling to the understanding and planning of mobility. A reflective section on this experience concludes the report.

Keywords: Mobility, Travel model, Modeling, EMC², Cartography, Planning, Transportation, Data processing, Calibration

Egis

7 rue de la Rainière, 44300, Nantes

Tuteur entreprise :

Emmanuel LE COZ

Chef de Projet Mobilités – Responsable site de Nantes

Tuteur académique :

Sébastien LARRIBE