
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Chargée d'études en transports et mobilité

Explain

28 rue de la République LYON 69002



Tuteur entreprise :
Laurent JARDINIER,
Directeur d'agence

Tuteur académique :
Hervé BAPTISTE

Alice BOSTYN
IUT
2024-2025

Remerciements

Avant de développer cette expérience professionnelle, il me paraît tout naturel de commencer par remercier les personnes qui m'ont permis d'effectuer ce stage ainsi que celles ayant rendu ce moment agréable et profitable.

Je remercie donc M. Laurent JARDINIER, directeur d'agence au sein d'Explain, qui m'a encadré tout au long de mon stage, s'est rendu disponible et a été à mon écoute.

Je remercie également M. Hervé BAPTISTE, enseignant-chercheur en aménagement et urbanisme, pour son accompagnement et ses précieux conseils, pendant mon stage mais aussi, et surtout, pendant mes trois années d'études à Polytech Tours.

Mes remerciements vont tout particulièrement à M. Loris CHEVRET pour le temps et l'accompagnement qu'il m'a accordés, et qui m'ont permis d'élargir mes connaissances en matière de modélisation.

Enfin, j'aimerais remercier toute l'équipe d'Explain, pour son accueil chaleureux et amical. En particulier les personnes de l'agence de Lyon qui m'ont accueilli dans leurs locaux et ont su, chacune à leur manière, m'apporter quelque chose de positif.

Table des matières

I.	Présentation de l'organisme d'accueil.....	3
II.	Le métier de chargé d'études	5
III.	Le métier de chargée d'études en mobilité et transports	6
IV.	... et en modélisation	7
a.	Qu'est-ce qu'un modèle ?	7
b.	Le zonage du modèle	9
c.	Les centroïdes du modèle	12
d.	Le réseau routier	14
e.	L'affectation à vide : vérification de la cohérence d'un réseau	22
f.	La définition des périodes	24
g.	Le regroupement des motifs de déplacement	25
h.	Le stationnement	26
i.	Suite du modèle	26
j.	Applications et limites d'un modèle	27
V.	Conclusion	29
VI.	Références	31

I. Présentation de l'organisme d'accueil

Explain est un cabinet de conseil et d'expertise spécialisé dans la planification des transports, fondé en octobre 2014 par un groupe de consultants partageant une culture, une expérience et des valeurs communes acquises au sein de MVA Consultancy, une référence internationale en matière de planification des transports.

Explain accompagne l'État, les collectivités et les exploitants dans l'élaboration et l'évaluation des politiques, stratégies et projets de transport. Le cabinet assiste également les promoteurs et les investisseurs dans leurs projets, en fournissant des analyses et des conseils objectifs et argumentés pour éclairer leurs décisions.

Pour chaque mission, Explain constitue une équipe pluridisciplinaire de spécialistes, pilotée par un directeur de projets et un chef de projets, afin de répondre au mieux aux attentes du client.

❖ Les domaines d'expertise d'Explain

- La définition et la modélisation des comportements de déplacement

Avec la construction de modèles multimodal des déplacements comme c'est le cas pour Lorient Agglomération, ou l'évolution de modèles pour Montpellier Méditerranée Métropole.

- L'évaluation socio-économique de projets

Comme celle du Grand Projet du Sud-Ouest (GPSO) qui permettra de déterminer les avantages et coûts procurés par le projet pour la collectivité et chacun des acteurs. De plus, l'évaluation permettra de déterminer la rentabilité socioéconomique de l'opération et sa robustesse.

- L'optimisation des réseaux de transport

Explain participe à l'arrivée de la ligne B du métro à Saint-Genis-Laval en accompagnant le Sytral dans la restructuration de son réseau de surface.

- Les études de circulation

La Communauté d'Agglomération Roissy Pays de France a choisi Explain pour l'aider à formaliser un plan d'action se déclinant sous forme de fiches actions abordant la circulation des piétons, des vélos et des automobiles ainsi que d'autres thématiques liées à la mobilité.

Pour faire face à la récurrence des problèmes de circulation et de stationnement la commune de Basse-Terre a fait appel à Explain.

- La réalisation d'enquêtes de mobilité

Mandaté par le Conseil Général des Hauts-de-Seine, Explain a réalisé une vaste enquête sur le pôle d'échange de La Défense Grande Arche et Esplanade.

❖ Les valeurs fondamentales d'Explain

- **Passion** : Des ingénieurs impliqués, établissant des relations durables avec les clients, fondées sur le respect mutuel et l'écoute ;
- **Rigueur** : Des conseils basés sur l'analyse des données et la modélisation, avec une application stricte des procédures ;
- **Honnêteté** : Une indépendance totale, servant les intérêts des clients en toute transparence et dans le respect de l'éthique ;
- **Curiosité** : Une ouverture aux idées nouvelles, favorisant un climat propice à l'apprentissage et à l'innovation.

❖ Les formations

Chez Explain, chaque nouvel arrivant, qu'il soit stagiaire, alternant, en CDD ou en CDI, bénéficie d'une formation qui s'intitule la « **Junior Academy** », elle comporte 6 modules d'environ 2 heures chacun sur des thématiques variées. Le but est de former les nouveaux arrivants à de nouvelles compétences sur les outils utilisés au sein d'Explain tels que QGIS, Inkscape, Excel et la charte graphique utilisée dans l'organisme.

Une **formation continue pour les jeunes chefs de projets** est également dispensée, elle se compose de 12 modules par an à raison de 1 module par mois.

Il existe aussi des formations concernant des **outils techniques pour les débutants**, elles sont externes sauf une qui est une introduction à CUBE. Les autres concernent CUBE (Base, Highway et PT), VISSIM, VISUM et Python. Il existe les mêmes formations pour les personnes **avancées** dans ces **outils techniques**.

Des formations concernant des **expertises thématiques** peuvent être suivies : Webinaires du CEREMA, Bilans socioéconomiques, infrastructures cyclables, prévisions fréquentation et recettes TC, études de circulation, diagnostics problématisés.

Enfin, il y a également des formations sur le thème du **business** : chef de projet, propositions gagnantes, gestion d'équipe, contrôle qualité et premiers secours.

II. Le métier de chargé d'études

Un chargé d'études, quel que soit le domaine dans lequel il intervient (mobilité, environnement, urbanisme, énergie, etc.), analyse, conçoit et propose des solutions techniques.

Il agit comme un intermédiaire entre les besoins du client (collectivité, aménageur ou opérateur) et la mise en œuvre d'un projet. Il peut évaluer les impacts d'un projet ou sa faisabilité dans le but d'éclairer les décisions à prendre.

Il analyse les besoins des clients, pour cela il doit comprendre la commande et en étudier le contexte (territoire, problématique, contraintes réglementaires ou techniques).

Collecter et traiter des données fait partie de son quotidien professionnel. En effet, il peut être amené à réaliser ou exploiter des enquêtes, des statistiques ou des relevés de terrain et également à travailler avec des outils de bases de données (Excel, Access) et de SIG (ArcGIS, QGIS).

Il réalise des études : propose des diagnostics, des scénarios ou des préconisations et peut être amené à étudier la cohérence d'un projet d'un point de vue environnemental, budgétaire, technique et réglementaire.

Le chargé d'études doit savoir travailler en équipe pluridisciplinaire (urbanistes, ingénieurs, environnementalistes, etc.).

Les compétences clés d'un chargé d'études sont :

- La rigueur d'analyse ;
- L'esprit de synthèse ;
- Les compétences techniques (lecture de plans, cartographie, gestion de données) ;
- La capacité à rédiger et à présenter des résultats de manière claire et structurée ;
- Le sens du travail en équipe.

Généralement, le chargé d'études est encadré par un chef de projet, lui-même supervisé par un directeur d'études.

En somme le chargé d'études est un ingénieur qui participe à des études permettant de concevoir des projets. Il contribue à la planification d'aménagements et indirectement à la prise de décisions.

III. Le métier de chargée d'études en mobilité et transports ...

Un chargé d'études en mobilité et transports travaille à comprendre, analyser et améliorer les déplacements de personnes et/ou de biens sur un territoire. Il joue un rôle clé dans la planification des mobilités, il est un appui aux collectivités, aux bureaux d'études ou aux opérateurs de transports.

Ses principales missions consistent à réaliser des diagnostics de déplacements, à réaliser des enquêtes de terrain (comptages, enquêtes usagers, enquêtes origine-destination, etc.), à analyser les pratiques de déplacements (qui se déplace ? comment ? pourquoi ? à quelles heures ?), à identifier des points potentiels de congestion et des manques d'accessibilité.

L'évaluation et l'analyse de l'offre de transport font partie de son quotidien : il étudie les réseaux de transports (bus, tramway, train, vélo, marche à pied, etc.), mesure l'efficacité des lignes (fréquence, taux de remplissage, etc.) et peut évaluer la rentabilité, d'un service, d'un point de vue économique.

Il peut proposer des améliorations liées aux mobilités en proposant des aménagements favorisant les mobilités douces (pistes cyclables, cheminements piétons, etc.), participer à des élaborations de plan de mobilité pour des entreprises, des écoles ou des collectivités, étudier les impacts liés à des évolutions d'offre fait également partie de son travail (nouveaux arrêts, lignes, horaires, etc.).

Il contribue indirectement aux politiques publiques en apportant une expertise qui oriente les décisions des élus, en réalisant des notes techniques, rapports ou supports de présentation.

En somme, le chargé d'études en mobilité et transports analyse tout ce qui touche à la mobilité des territoires et est un conseiller stratégique dans ce même domaine.

IV. ... et en modélisation

« Le chargé d'études en modélisation des déplacements conçoit, met en œuvre et interprète des modèles mathématiques ou informatiques permettant de représenter et de simuler les comportements de mobilité sur un territoire. Il s'appuie sur des données réelles (enquêtes, comptages, données GPS, etc.) pour prévoir l'impact de projets ou de politiques de transport. », d'après le CEREMA.

Un chargé d'études en modélisation des déplacements analyse des données telles que des EMC², des comptages ou des données GPS.

Il participe à l'élaboration ou à la mise à jour de modèles de transport à des échelles pouvant être différentes (macro, méso, micro).

Il réalise des simulations sur les modèles, il teste des scénarios comme l'ajout d'une ligne de tramway, d'un péage urbain, une fermeture de voie ou encore la mise en place d'une Zone à Faibles Emissions (ZFE).

Il analyse les impacts qu'ont les scénarios sur le trafic, les temps de trajet, le report modal ou les émissions de CO₂.

Il mobilise également ses capacités de restitution lorsqu'il présente des résultats sous forme de cartes, de rapports ou de graphiques.

a. Qu'est-ce qu'un modèle ?

Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité construite pour un objectif donné. Le travail du modélisateur consiste à déterminer le niveau optimum de cette simplification permettant d'atteindre les objectifs assignés à l'outil en intégrant les contraintes liées aux données disponibles pour sa construction et son utilisation.

La méthode classique de modélisation des déplacements est le modèle à 4 étapes. C'est une approche séquentielle qui permet de décomposer le choix des caractéristiques du déplacement (origine, destination, mode, itinéraire) en 4 séquences de choix :

- **La génération** (D'où partir ?), cette étape cherche à estimer le nombre de déplacements émis et reçus par zone du modèle (voir a. Le zonage du modèle). Cette partie peut être traitée de façon très simple, en considérant seulement le nombre d'emplois et la population par zone ;
- **La distribution** (Où aller ?) permet de déterminer la destination pour chaque déplacement émis par chacune des zones. A cette étape, c'est une matrice OD (origine-destination) qui est produite. Il existe de nombreuses méthodes permettant de réaliser cette étape.

$$Flux_{i,j} = \frac{E_i A_j \alpha_i \beta_j}{Dist_{i,j}^\gamma}$$

Distance entre i et j
Plus généralement on utilise une fonction décroissante en fonction du « coût »

Figure 1 : Le modèle gravitaire rapporté aux déplacements de personnes

Le modèle gravitaire en modélisation est basé sur la loi de gravitation universelle, il repose sur le principe que plus une zone est proche de la zone de départ d'un individu et plus celui-ci a des chances de s'y rendre. Autrement dit, plus une zone est proche (selon la distance), plus elle est attirante. Ce modèle est considéré comme une façon simple de modéliser et possède de nombreuses limites. Par exemple, le poids associé à l'attraction est confondu avec la distance, alors que de nombreux autres paramètres peuvent avoir un poids beaucoup plus important.

- **Le choix modal** (Comment y aller ?) estime la part modale de chaque couple OD. Les paramètres à prendre en compte peuvent être le fait de posséder une voiture, un abonnement TC, l'âge, etc.

$$PM_{TC} = \frac{e^{U_{TC}}}{e^{U_{VP}} + e^{U_{TC}} + e^{U_{MD}}}$$

Figure 2 : Modèle Logit (PM = Part Modale, TC = Transport en Commun, VP = Véhicule Particulier, U = utilités)

Exemple du modèle Logit qui permet de répartir les flux, sur OD donnée, en fonction des utilités de déplacements de chaque mode (prix, durée à bord, stationnement, coût d'entretien, etc.). Le choix des fonctions d'utilité est déterminant dans le fonctionnement de l'outil. La fonction d'utilité peut prendre n'importe quelle forme, elle peut être extrêmement fine. Il est aussi possible de séquencer le choix de mode des individus via les fonctions d'utilité. En sortie de cette étape, une matrice OD pour chacun des modes considérés est constituée.

- **L'affectation** (Quel itinéraire emprunter ?) estime la probabilité que chacun des itinéraires soit emprunté entre chaque OD. En sortie de cette étape, la charge sur les réseaux (TC, VP, etc.) est obtenue.
Pour cela, **l'affectation** détermine pour chaque origine-destination le plus court chemin, dans le sens du chemin qui nous coûte le moins en fonction des paramètres choisis, qui peuvent être : le temps d'attente, les péages, le coût kilométrique, le temps de parcours, le coût d'entretien, etc. La formule regroupant les paramètres choisis s'appelle « le coût généralisé », c'est un concept économique permettant de regrouper l'ensemble des éléments perçus comme un coût par l'utilisateur dans un déplacement (temps, argent, confort, etc.), d'après le CEREMA

Dans la suite, une partie des différentes composantes permettant la **construction d'un modèle** sont présentées.

b. Le zonage du modèle

Le zonage du modèle est crucial et nécessite de trouver le bon compromis entre un nombre suffisant de zones, d'une part, et un découpage limité du territoire, d'autre part.

Il est important d'avoir un nombre suffisant de zones car les flux internes aux zones ne sont pas affectés sur le réseau du modèle, de ce fait ces flux n'apparaîtront pas sur les réseaux de transport et la saturation sera ainsi minimisée, il convient donc d'avoir un nombre de zones correct et indirectement des zones ayant une taille permettant de limiter cet effet. De plus, les niveaux de service entre couples de zones (temps de déplacement par exemple) seront moyennés pour chaque mode de transport et chaque période, il ne faut donc pas que l'accessibilité varie trop à l'intérieur d'une même zone car cette moyenne risque de masquer les différences trop importantes et donc de trop s'éloigner de la réalité.

D'autre part un découpage limité du territoire est tout aussi important car il est indispensable d'assurer une bonne concordance entre le niveau spatial des données fiables disponibles et le zonage final du modèle (résidents, emplois, étudiants, etc.), il en va de même pour les données de l'EMC² (ou EMD). De plus, les temps de calcul du modèle sont une fonction croissante du nombre de zones.

Pour le zonage, un lien étroit avec le zonage des EMC² (ou à défaut des EMD) est à rechercher quand ces enquêtes existent.

Une EMC² ou « Enquête Mobilité Certifiée Cerema » est une enquête qui alimente les politiques publiques depuis la fin des années 1970. Initialement conçue pour les zones denses des grandes agglomérations, les enquêtes ont été déclinées dans les villes moyennes et les couronnes périurbaines.

Pour s'adapter aux besoins des collectivités, le dispositif EMC² est maintenant modulable : il est composé d'un cœur (commun à toutes les enquêtes) et d'options qui permettent d'élargir le champ de l'enquête ou de tirer parti des opportunités offertes par les technologies numériques.

Si un zonage plus fin que celui de l'EMC² est désiré, comme c'est parfois le cas pour des secteurs denses (métropole, commune avec une population élevée, etc.), un zonage à l'échelle de l'IRIS ou de l'infra-IRIS est à privilégier.

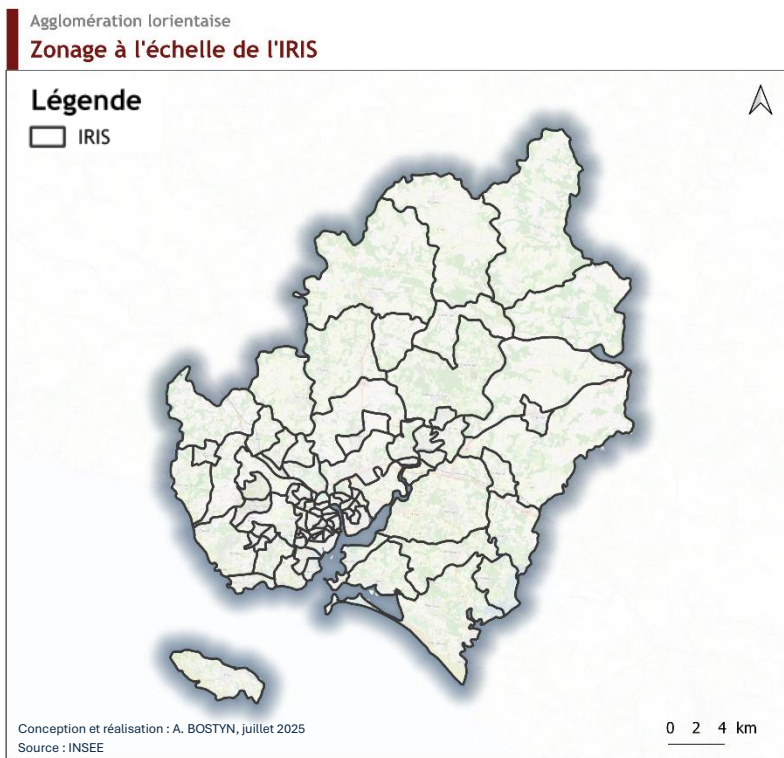


Figure 3 : Exemple de zonage à l'échelle de l'IRIS

Par ailleurs, il est parfois nécessaire de modifier des zones manuellement pour répondre à des demandes spécifiques des clients ou pour affiner le modèle. Par exemple, pour les IRIS comportant des coupures physiques (cours d'eau, etc.) ou pour celles comportant des limites fonctionnelles (hôpital, zone d'habitation, centre commercial, etc.).

La cohérence du zonage du modèle avec les coupures physiques est un élément crucial car il convient d'éviter des zones présentant des niveaux d'accessibilité trop hétérogènes.

Cas d'une limite physique au sein d'un IRIS

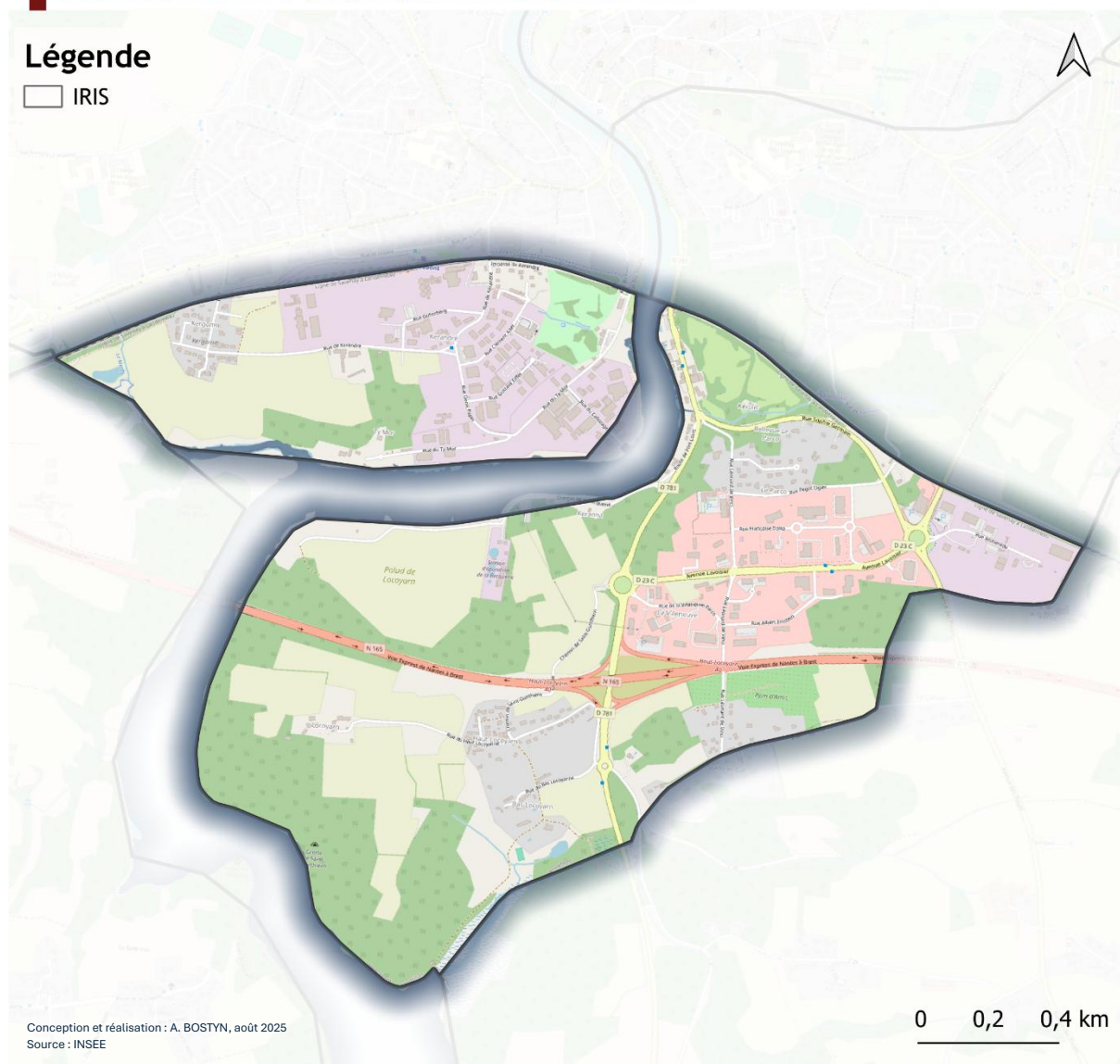


Figure 4 : Exemple d'une coupure physique au sein d'un IRIS

Cela peut être le cas lorsqu'au sein d'une même zone il y a des différences administratives ou fonctionnelles trop importantes. A titre d'exemple, l'IRIS présenté sur la carte ci-dessous présente 3 fonctions différentes (une fonction liée à la santé et à l'emploi avec l'hôpital du Scorff, une fonction résidentielle et une fonction plutôt liée à l'emploi avec *Naval Group*), il peut alors être intéressant de découper cet IRIS de façon à distinguer les différentes façons de se déplacer liées à chacune de ces fonctions.

Cas de limites fonctionnelles au sein d'un IRIS

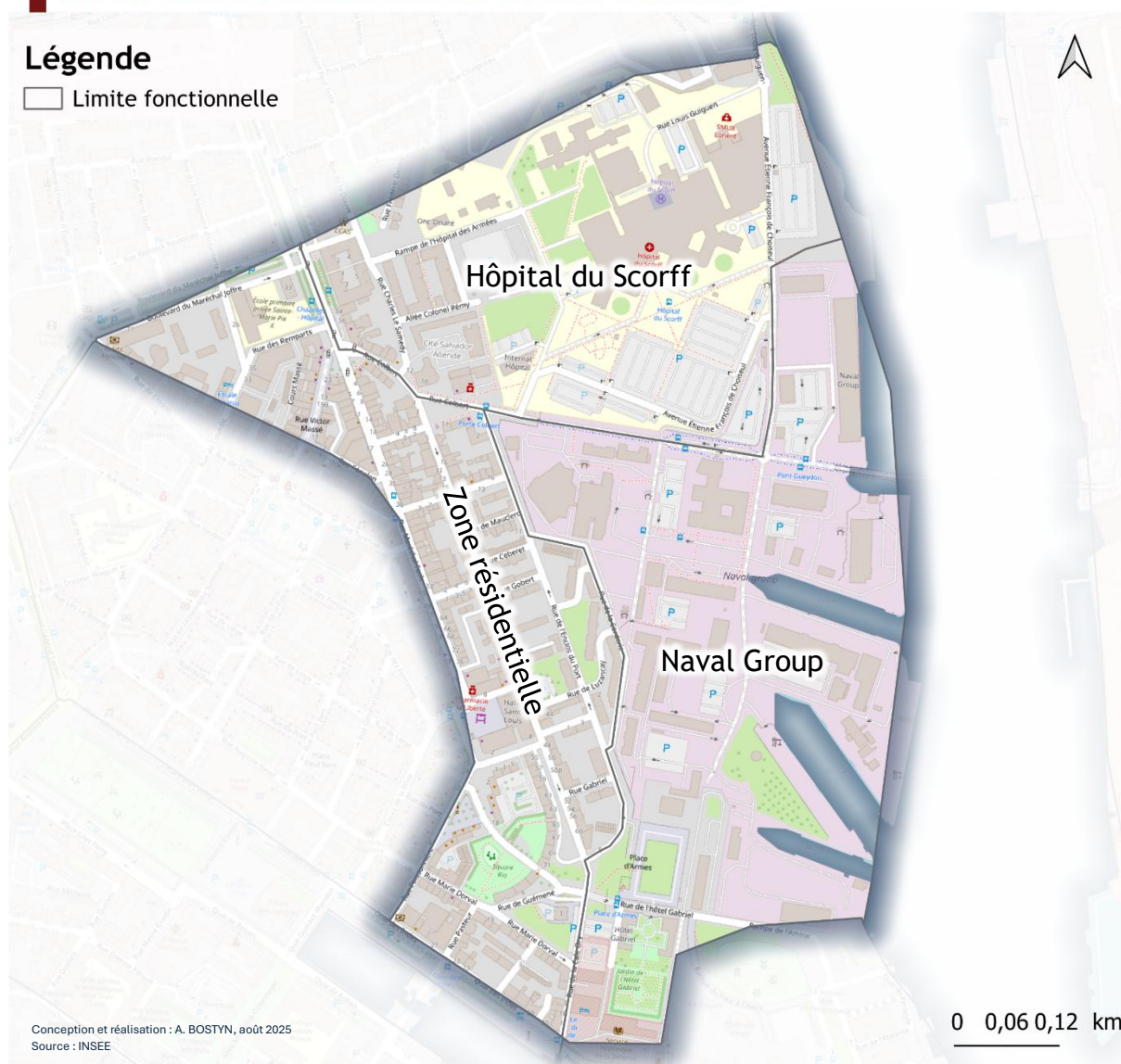


Figure 5 : Exemple de limite fonctionnelle au sein d'un IRIS

c. Les centroïdes du modèle

La modélisation est un exercice qui consiste à mettre en relation un réseau avec des flux. La demande est un ensemble de flux d'individus allant d'un point à un autre à un moment donné, celle-ci est modélisée par une matrice contenant les flux horaires entre chaque zone de l'aire étudiée. En effet, puisqu'il n'est pas possible de modéliser tous les itinéraires de tous les individus, il est nécessaire de regrouper les comportements des individus au sein de zones géographiques.

Le centroïde représente alors le point de départ et/ou d'arrivée de l'ensemble des individus composant une zone géographique donnée. C'est-à-dire, que l'ensemble du trafic d'une zone est émis et reçu à partir de ce point. Informatiquement, une zone du modèle est représentée par un unique point : le centroïde.

Techniquement le trafic se répartit sur les différents tronçons du réseau à partir d'un centroïde de départ jusqu'à un centroïde de destination. La succession de nœuds empruntés définit alors l'itinéraire emprunté par les usagers après l'affectation. La connectivité du centroïde avec le réseau modélisé est assurée par des connecteurs.

Les centroïdes peuvent être déterminés de différentes façons :

- Barycentre des populations, ce type de centroïde tient compte de la répartition des habitants de chaque zone du modèle et indique le point moyen où vit la population.

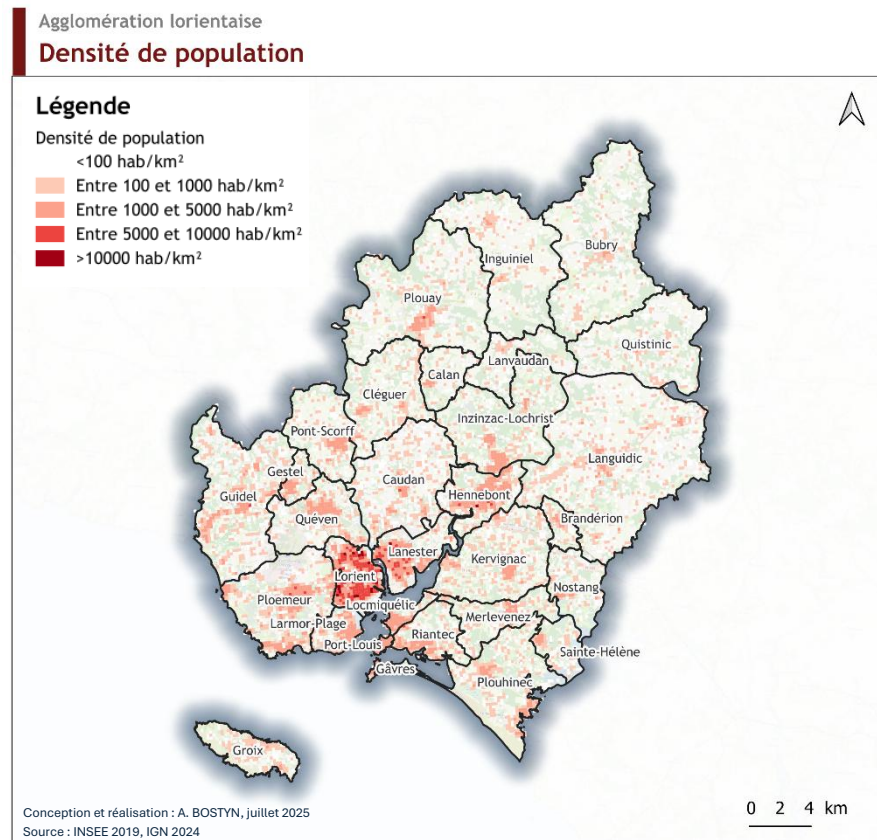


Figure 6 : Densité de population de l'agglomération lorientaise

- Centroïdes géographiques sont les centres de gravité purement géométriques de chaque zone du modèle.

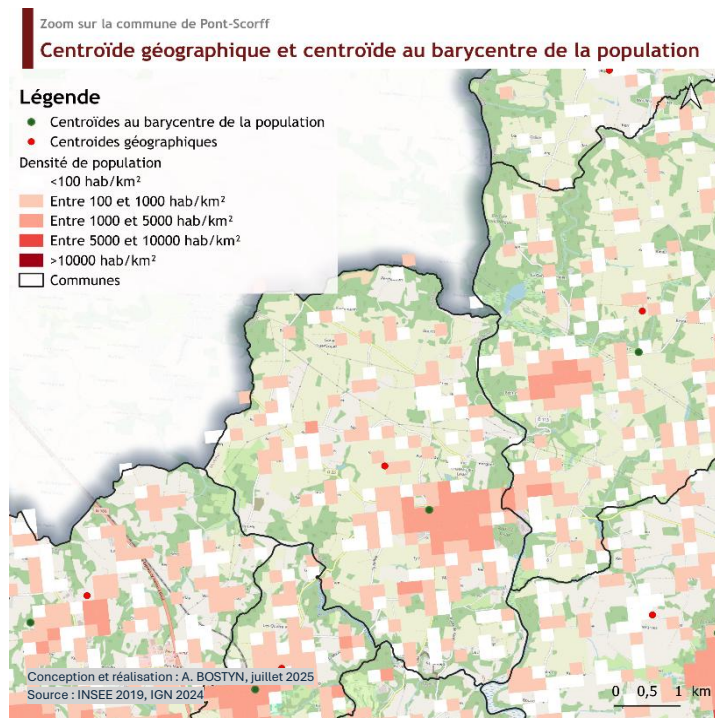


Figure 7 : Différence entre un centroïde géographique et un centroïde au barycentre de la population

- Barycentre des emplois, c'est le même principe que pour le barycentre des populations avec cette fois les emplois qui sont pris en compte. Pour ce type de centroïdes il est souvent nécessaire de le faire manuellement car soit il existe peu, soit il n'existe pas de données suffisamment fines sur le nombre d'emplois pour être exploitées dans un modèle.

Quelle que soit la méthode utilisée, il faut s'assurer que chaque centroïde se situe dans la zone qui lui correspond.

d. Le réseau routier

❖ Qu'est-ce qu'un réseau ?

En modélisation, un réseau se compose de liens et de nœuds. Chacun de ces deux composants possède des attributs cartographiques et fonctionnels.

Deux types de nœuds existent dans un réseau : le nœud de réseau et le centroïde de zone (voir partie c. *Les centroïdes du modèle*). Il y a également deux types de liens : les liens de réseau et les connecteurs.

Les connecteurs sont des liens fictifs qui assurent la liaison entre les centroïdes et les liens du réseau, ils sont dotés d'attributs fonctionnels permettant de déterminer le temps nécessaire pour relier le centroïde au réseau, temps de parcours indépendant du trafic qu'il supporte. C'est pour cette raison que les connecteurs se voient généralement attribués une capacité infinie. Plusieurs connecteurs peuvent être associés à un centroïde de zone permettant de le relier à différents nœuds du réseau, d'après Patrick Bonnel

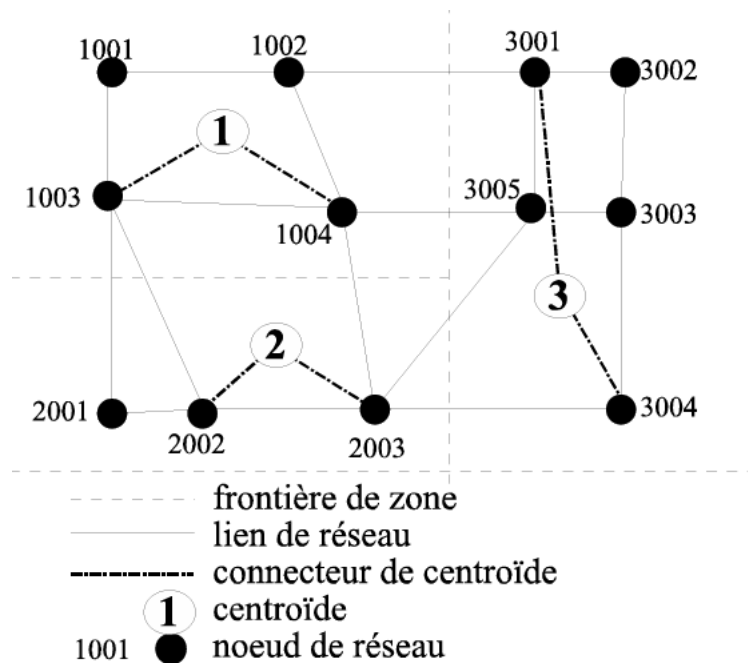


Figure 8 : Exemple de réseau par Patrick Bonnel

❖ Le réseau routier

Le réseau routier est indispensable car il est un support cartographique, il permet d'illustrer le fonctionnement routier (via des cartes).

Il est également la base pour réaliser les affectations qui vont permettre de connaître, par période, le niveau de charge de chaque tronçon ainsi que de réaliser différentes exploitations : arborescences, comparaison entre scénarios, etc.).

Le réseau routier est défini par ses deux fonctions :

- Une fonction cartographique avec des **attributs cartographiques**, constituant un ensemble de nœuds et de liens ;
- Une fonction de support des affectations routières avec des **attributs caractéristiques** (capacités, vitesses à vide, etc.).

Périmètre du réseau routier

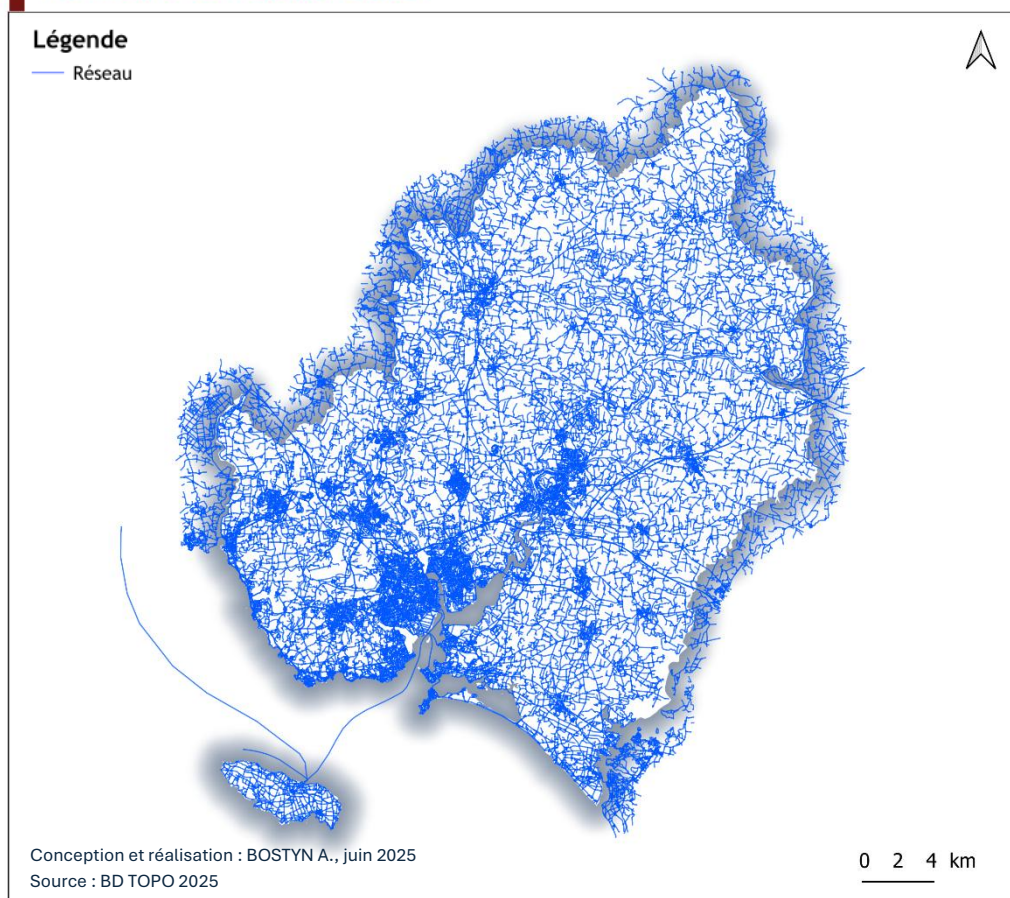


Figure 9 : Réseau routier brut de l'agglomération lorientaise

Les données concernant le réseau routier peuvent provenir de la BD TOPO (base de données topographiques produite par l'IGN en France), comme c'est le cas sur la carte ci-dessus, disponible en libre accès sur le territoire national.

Le réseau tel qu'il est fourni par la BD TOPO nécessite d'être adapté pour l'exercice de modélisation. Il convient en effet de l'alléger en supprimant certains tronçons mais également de l'affiner en ajoutant des attributs propres aux affectations routières tels que la capacité et le niveau hiérarchique, par exemple.

Certains tronçons doivent également être supprimés. Il peut s'agir de tronçons considérés comme des « chemins », des « routes empierrées » ou comme très peu importants. Il existe également des tronçons isolés ou en impasse et de nombreux attributs caractéristiques inutiles pour la modélisation dont il faut se séparer.

Réseau routier

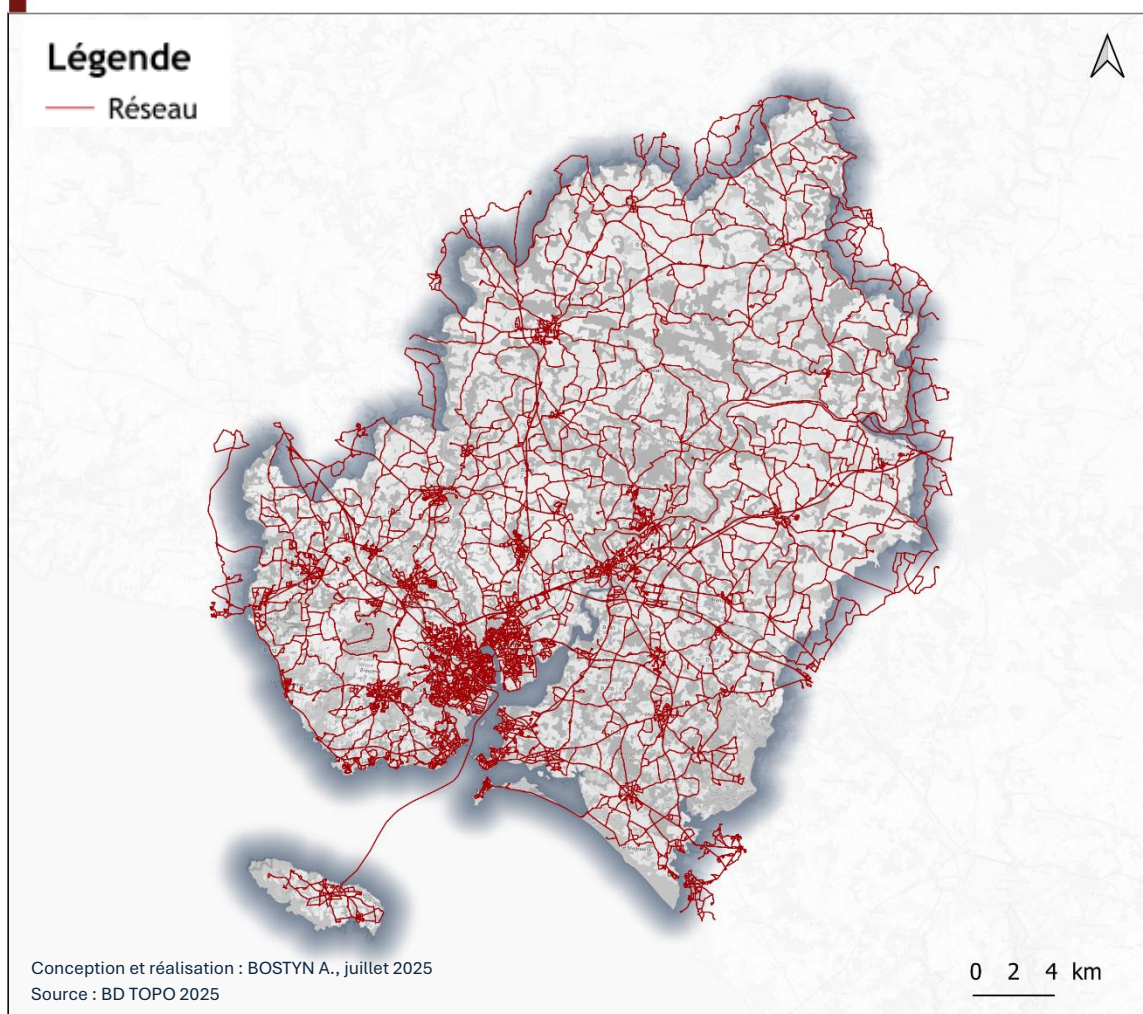


Figure 10 : Réseau routier après simplification de l'agglomération lorientaise

Cependant, certains attributs sont indispensables au fonctionnement du modèle :

- **La nature** des tronçons du réseau est fournie par la BD TOPO, elle renseigne sur la typologie physique et fonctionnelle des tronçons.

Nature des tronçons du réseau routier

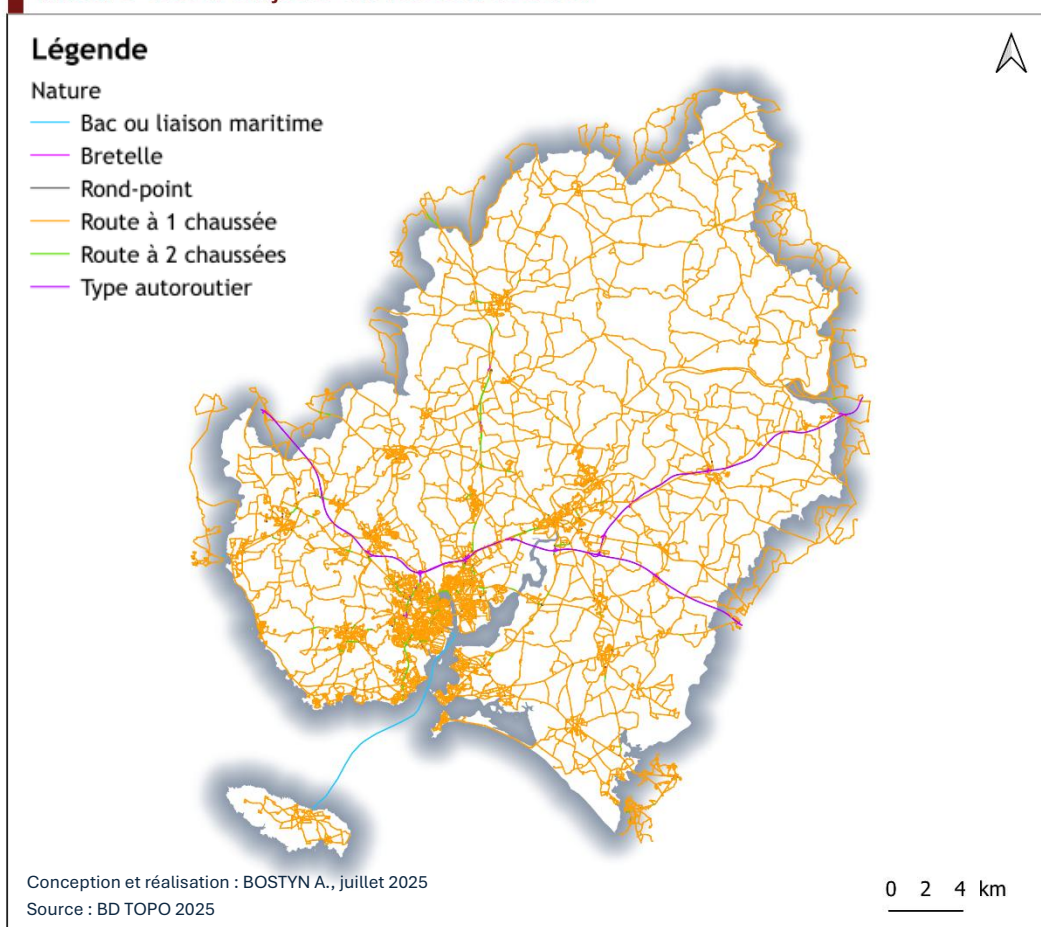


Figure 11 : Nature des tronçons du réseau routier sur l'agglomération lorientaise selon la BD TOPO

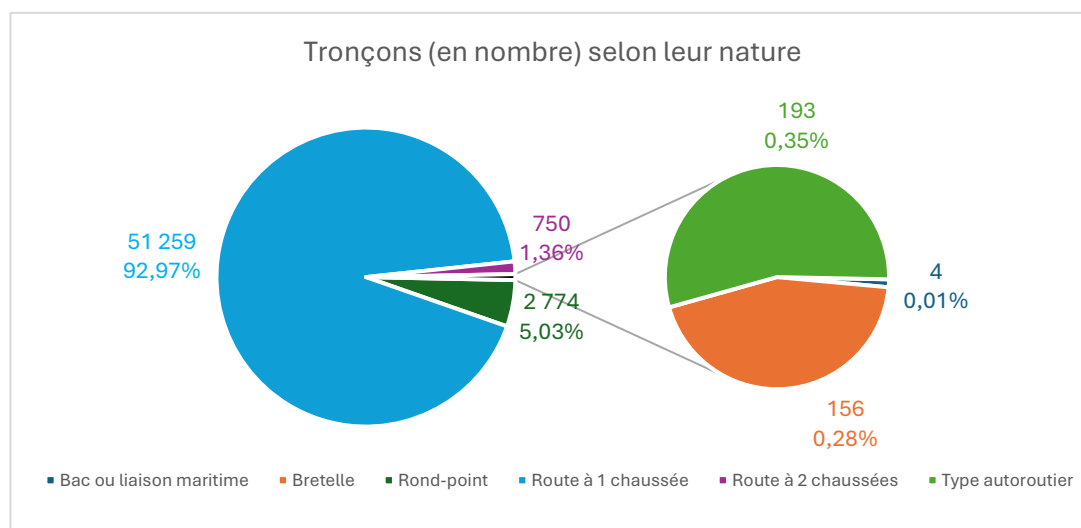


Figure 12 : Tronçons du réseau routier selon leur nature

La grande majorité (92,97%) des tronçons est des routes à 1 chaussée. Le réseau est ainsi principalement constitué de routes dites « classiques ». Bien que les ronds-points (5,03%) et les routes à 2 chaussées (1,36%) représentent des parts plus faibles, ils sont

importants pour la modélisation. Enfin, les tronçons de type autoroutier (0,35%) ou bretelles (0,28%) sont logiquement moins nombreux.

- **Le type hiérarchique** peut ne pas être renseigné dans la BD TOPO, dans ce cas, il convient de l'ajouter et de le faire dépendre de la nature et de l'importance des tronçons. Il est possible de trouver, concernant le niveau hiérarchique, ce genre de termes : Tertiaire, secondaire, principal, etc. ;
- **Le caractère urbain**, généralement fourni par la BD TOPO, n'est pas directement nécessaire au fonctionnement du modèle. Néanmoins, de cet attribut peuvent dépendre certaines autres caractéristiques (capacité, vitesse à vide, etc.). Généralement, la BD TOPO utilise Corine Land Cover (CLC, un inventaire visuel d'images satellites) pour déterminer le caractère urbain des tronçons ;
- **La capacité**, si elle n'est pas fournie par la BD TOPO, pourra dépendre du caractère urbain, du type hiérarchique et du nombre de voies de chaque tronçon.

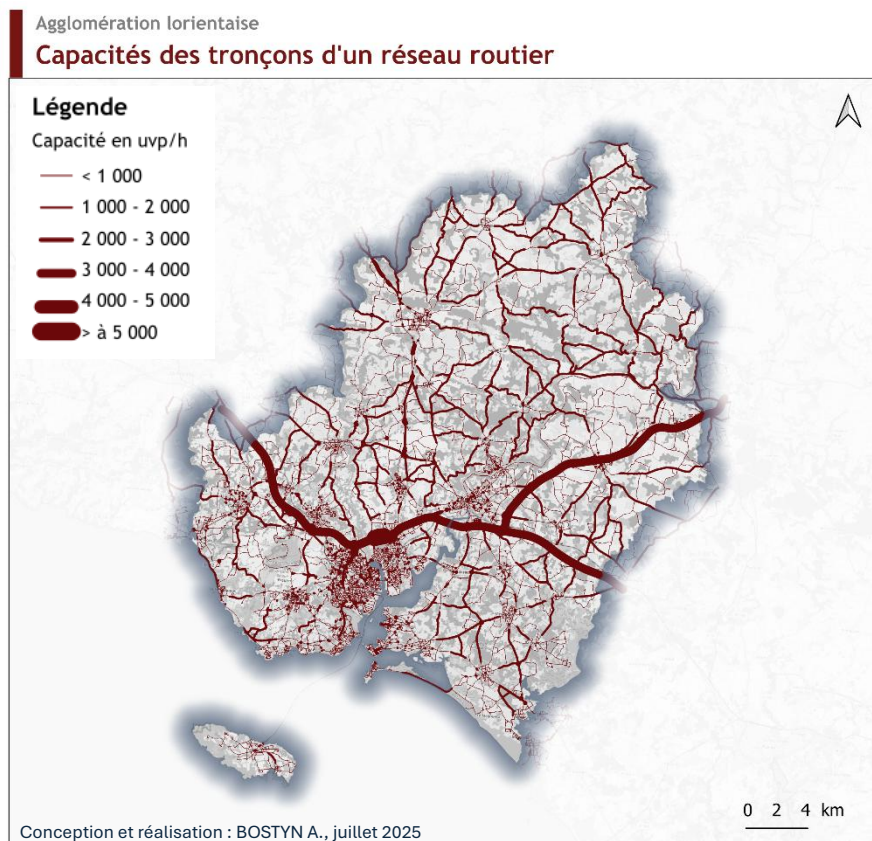


Figure 13 : Exemple de capacités d'un réseau - Cas de l'agglomération lorientaise

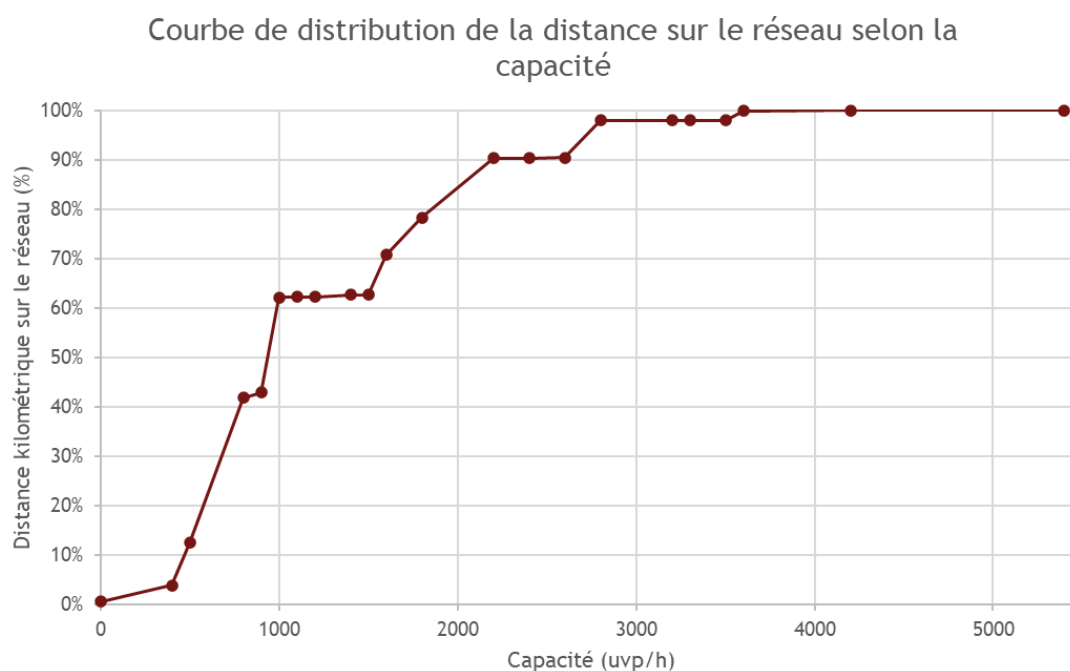


Figure 14 : Capacités du réseau

Dans cet exemple, il y a une concentration importante de distance kilométrique de tronçons pour des capacités inférieures à 2 000 uvp/h (78,31%). La distribution est décroissante, plus la capacité augmente et moins il y a de kilomètre de tronçons correspondants. Pour les capacités supérieures à 2 000 uvp/h la distance kilométrique du réseau chute nettement et devient presque négligeable au-delà de 4 000 uvp/h. Quelques points sont isolés comme c'est le cas pour des capacités supérieures à 5 000 uvp/h ; cela peut correspondre à des axes structurants tels que des routes nationales.

- **La vitesse à vide** correspond à la vitesse moyenne de circulation sur un réseau vide (sans contrainte de saturation). Si cet attribut n'est pas fourni il dépendra de la nature, du type hiérarchique, de l'importance et du caractère urbain des tronçons.

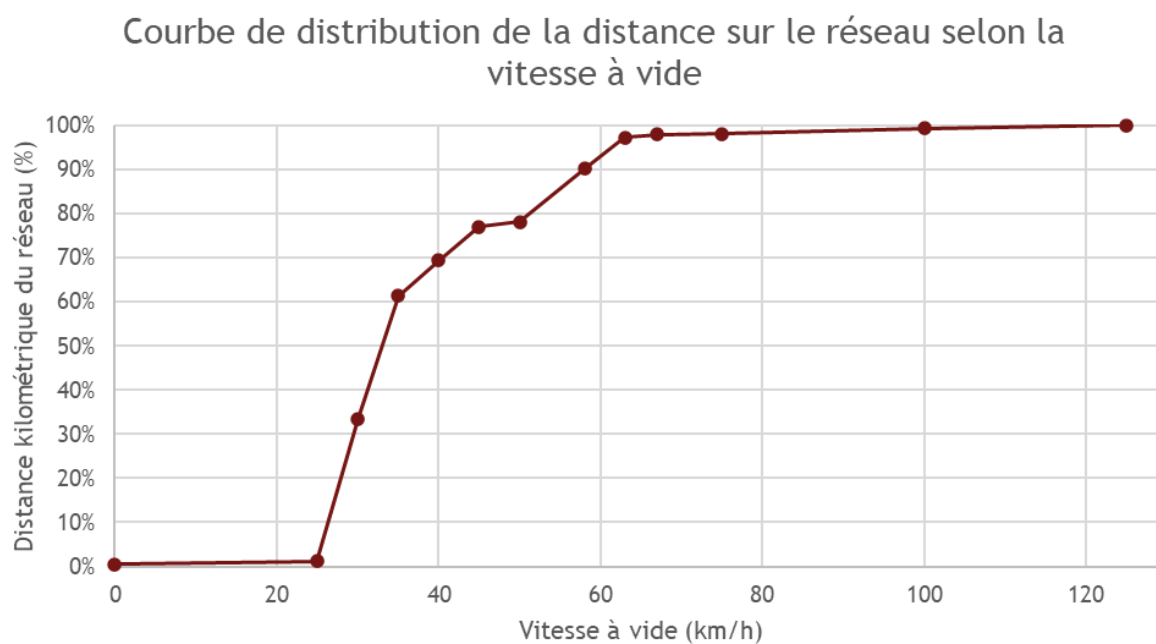


Figure 15 : Vitesses à vide du réseau

Dans cet exemple, la structure routière est dominée par des voies où la vitesse à vide est modérée : voies en zones urbaines, routes secondaires. Les vitesses élevées (100-125 km/h) correspondent à de grands axes de type autoroutes ou voies rapides, sur le graphique ils représentent une part très faible (1%) du réseau en termes de distance. La distribution est asymétrique avec une forte concentration sur les vitesses faibles de moins de 60 km/h (90%).



Figure 16 : Vitesses à vide et capacités du réseau - cas de l'agglomération lorientaise

Dans cet exemple, le réseau est structuré autour de grands axes offrant une vitesse à vide aux alentours de 100 km/h et des capacités supérieures à 5 000 uvp/h. Ces axes desservent principalement les entrées et sorties d'agglomération, jouant un rôle d'artère principale pour les flux longues distance et interurbains.

La trame secondaire présente des vitesses à vide plus faibles (20 à 80 km/h) et des capacités inférieures à 2 500 uvp/h. Elle assure les dessertes locales et le maillage plus fin entre quartiers mais n'est pas prévu pour supporter d'importants volumes de trafic.

e. L'affectation à vide : vérification de la cohérence d'un réseau

Une affectation à vide est une affectation des flux sur un réseau sans tenir compte des effets de congestion. Elle consiste à calculer les itinéraires que suivraient les usagers si les temps de parcours ne dépendaient pas du trafic.

Cette étape permet de vérifier la cohérence du réseau, notamment concernant le temps de parcours et la distance parcourue. Il convient de vérifier s'il n'y a pas de valeur aberrante.

En entrée, le réseau devant être vérifié et une matrice origine-destination (OD) simple, ne contenant que des valeurs égales à 1. Ce qui signifie que chaque zone émet 1 véhicule vers chacune des autres zones. Donc si le modèle est composé de 3 zones, alors chaque zone émettra 2 véhicules au total (les déplacements intra-zone n'étant pas pris en compte).

Origine	Destination	Volume
1	2	1
1	3	1
2	1	1
2	3	1
3	1	1
3	2	1

Figure 17 : Exemple d'une matrice OD simple utilisée pour une affectation à vide

En sortie de l'affectation, une matrice peut également être obtenue.

Il convient ensuite de comparer cette matrice obtenue avec des valeurs réelles. Il est, par exemple, possible de comparer ces valeurs avec celles de Google Maps.

Origine	Destination	Temps (min)	Temps réel (min)	Distance (km)	Distance réelle (km)
1	2	25,84	23,82	21,22	24,687
1	3	19,04	20,23	22,5	26,157
2	1	16,86	17,15	12,73	18,11
2	3	13,64	14,75	13,95	15,515
3	1	7,63	12,82	5,39	6,926
3	2	15,77	20,53	11,58	20,691

Figure 19 : Exemple d'un tableau de comparaison entre des valeurs modélisées et des valeurs réelles

Origine	Destination	Temps (min)	Distance (km)
1	2	25,84	21,22
1	3	19,04	22,5
2	1	16,86	12,73
2	3	13,64	13,95
3	1	7,63	5,39
3	2	15,77	11,58

Figure 18 : Exemple d'une matrice OD simple obtenue en sortie d'une affectation à vide

Si certaines valeurs modélisées sont trop éloignées des valeurs réelles, il se peut qu'une erreur existe dans le modèle. Il peut s'agir d'un tronçon ayant une distance erronée ou toute autre faute qui modifierait les paramètres de distance ou de temps.

f. La définition des périodes

Un modèle peut être appréhendé sur une ou plusieurs périodes, cela dépend des besoins des clients :

- Période de pointe du matin – PPM
- Période de pointe du soir – PPS
- Période creuse de jour – PCJ
- Période creuse de nuit – PCN
- Jour ouvrable de base – JOB

Le JOB, la plupart du temps, est le résultat de la somme des quatre autres périodes, ce qui correspond à une période de 24H.

Le nombre idéal de périodes à considérer est difficile à appréhender car en pratique il est fortement contraint par les capacités de calcul des machines, les données disponibles et les demandes des clients.

Il existe diverses méthodes pour déterminer chacune de ces périodes, sachant que le choix des périodes de pointe entraîne indirectement celui des périodes creuses. Il est alors possible d'appréhender les périodes de pointe comme :

- Les périodes durant lesquelles le nombre de départs est le plus élevé ;
- Les périodes pendant lesquelles le nombre d'arrivées est le plus élevé ;
- Les périodes lors desquelles il y a le plus d'individus en train de se déplacer.

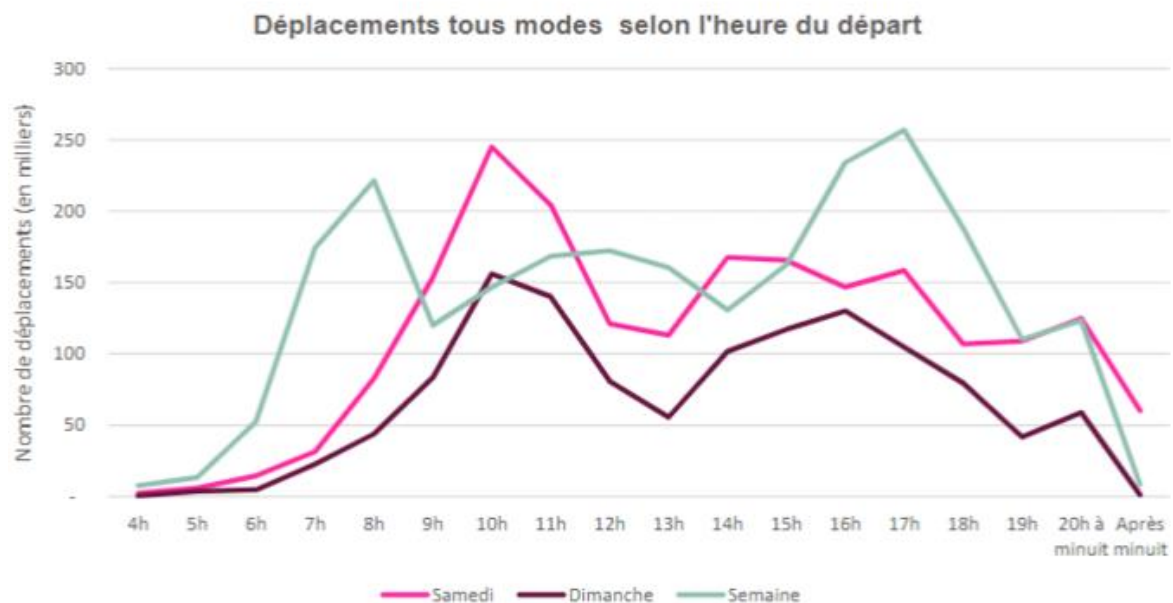


Figure 20 : Résultats de l'EMC2 sur le bassin grenoblois

En semaine, il est possible d'observer une montée en charge progressive qui s'accélère sensiblement à partir de 6h00, atteint un maximum vers 8h00 puis décline jusqu'à 9h00. La PPS, identifiable et plus large que celle du matin, se trouve entre 16h00 et 18h00.

Il existe également des variations ponctuelles du nombre de déplacements : principalement entre 10h00 et 13h00.

g. Le regroupement des motifs de déplacement

Toujours en partant des données de l'EMC² (ou de l'EMD), dans un modèle il est indispensable de regrouper certains motifs de déplacements car il est nécessaire de disposer de suffisamment d'observations pour calibrer les règles comportementales de mobilité quotidienne des habitants du périmètre du modèle.

Lors de l'enquête, un certain nombre de ménages et donc de personnes sont interrogées sur leurs déplacements effectués la veille. Un coefficient de pondération est intégré à l'enquête afin de permettre de redresser les résultats et ainsi reconstituer la structure de la population du périmètre de modélisation.

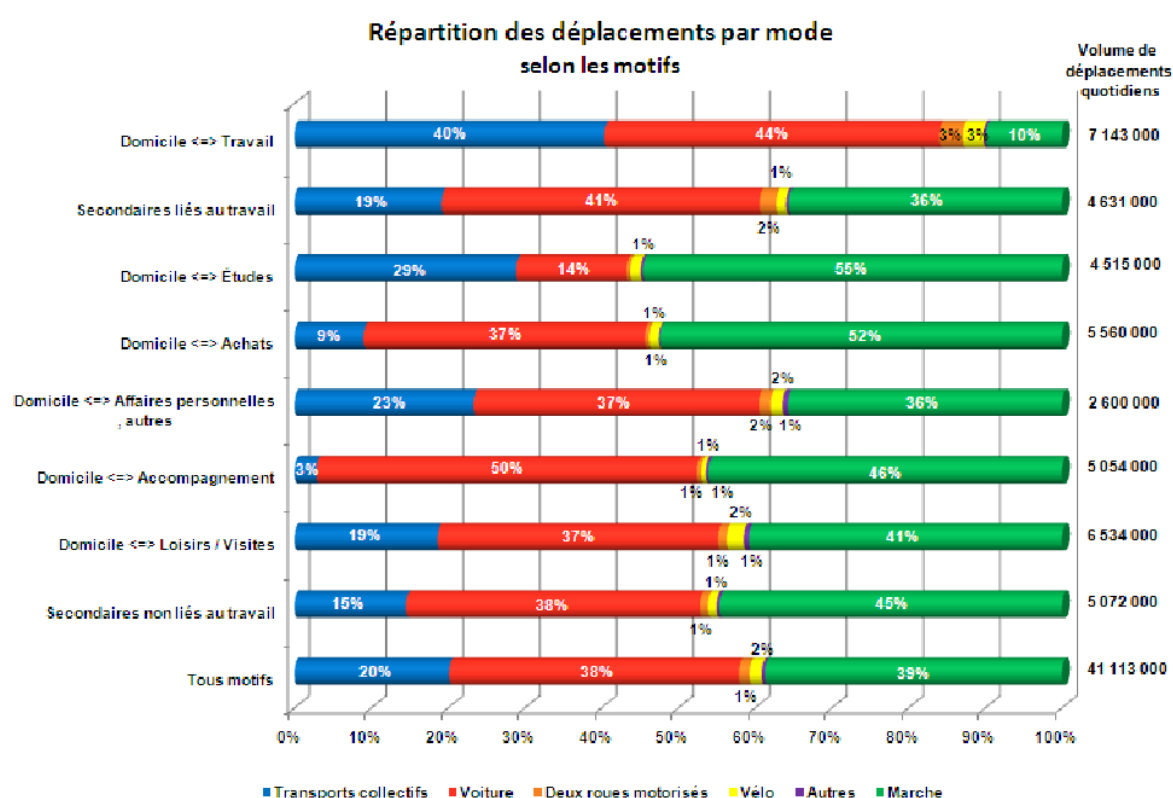


Figure 21 : Exemple de motifs pouvant être présents dans une EMC²/EMD

Dans cet exemple, les motifs sont :

- Domicile ;
- Loisirs / Visites ;
- Achats ;
- Travail ;
- Accompagnement ;
- Etudes ;
- Affaires personnelles, autres ;
- Secondaires liés au travail ;
- Secondaires non liés au travail.

Ces motifs reflètent chacun une façon de se déplacer différente. Un individu ne se déplacera potentiellement pas de la même façon pour le motif « Achat » que pour le motif « Travail » ou « Accompagnement ».

h. Le stationnement

Les contraintes de stationnement sont déterminantes dans le choix modal des individus. C'est pour cette raison que les politiques de stationnement constituent un puissant levier de gestion des flux et de report modal.

Dans ce cadre il est indispensable de prendre en compte cette composante de l'offre routière dans un modèle.

De manière concrète, la question du stationnement va apparaître sous la forme d'une fonction d'utilité associée à chacun des modes de transport considérés, il va de soi que cette fonction concernera davantage les VP. La fonction d'utilité pour le mode VP pourrait être la suivante :

$$U_{VP_{ij}} = \alpha * TempsVP_{ij} + \beta * CoûtVP_{ij} + \gamma * StationnementVP_{ij} + cteVP$$

Avec

- α , β et γ sont des paramètres à calibrer par motifs ;
- $TempsVP_{ij}$ et $CoûtVP_{ij}$ représentent le temps en minutes et le coût en euros pour effectuer un déplacement en VP d'une origine i à une destination j ;
- $StationnementVP_{ij}$ est la valeur associée à la question du stationnement entre chaque origine i et destination j pour les déplacements réalisés en VP uniquement. Elle peut être calculée de plusieurs façons, ce qui compte c'est de pouvoir justifier la pertinence de la méthode utilisée.

i. Suite du modèle

Les différentes étapes ci-dessus présentent partiellement le montage d'un modèle multimodal des déplacements. Cette partie consiste à présenter brièvement certaines étapes qui n'ont pas été abordées précédemment.

❖ Le réseau TC

Le réseau de transports en commun comprend les transports en commun urbains (TCU) et interurbains (TCI) et peut inclure les modes suivants : train, bus, car, tramway, métro, navette fluviale, etc.

Ce réseau s'accompagne d'arc de rabattements qui sont des liaisons dans le réseau de transport permettant de représenter le trajet qu'un usager effectue pour rejoindre un mode de transport collectif à partir de son point de départ ou pour se rendre à sa destination depuis un arrêt.

❖ Le réseau cyclable

Ce réseau n'est pas obligatoire mais il peut avoir un impact très important au moment du choix de mode. Il peut donc être pertinent de l'intégrer dans un modèle.

Le réseau cyclable peut être intégré manuellement mais dans tous les cas il convient de partir d'une source de données fiable (Géovélo, etc.). Dans l'idéal, le réseau cyclable doit se superposer aux autres réseaux, c'est-à-dire que certains tronçons déjà existants peuvent être utilisés par les vélos mais d'autres peuvent également être ajoutés (voie verte, etc.).

j. Applications et limites d'un modèle

Un modèle permet de représenter et analyser les flux de déplacements, s'il est multimodal alors il tiendra compte de plusieurs modes de transport (marche, vélo, bus, tramway, voiture, etc.).

Concernant la **planification des réseaux de transport**, un modèle peut servir à évaluer la pertinence de nouvelles lignes (de bus, tramway ou train), à ajuster les fréquences ou itinéraires de lignes existantes, à planifier des pôles d'échanges multimodaux.

A propos des **politiques publiques**, la modélisation peut permettre de mesurer les effets d'une politique de tarification (gratuité des bus, etc.), évaluer les impacts d'aménagements cyclables ou piétons, ou encore simuler les conséquences de la mise en place d'une ZFE (Zone à Faible Emissions).

Un modèle participe à l'**aménagement d'un territoire** en aidant au choix d'implantation de nouveaux quartiers, zones commerciales ou équipements publics et en vérifiant que l'offre de transport est en cohérence avec les besoins futurs.

La modélisation permet d'**analyser l'accessibilité** en calculant les temps d'accès à des services (écoles, hôpitaux, etc.) selon différents modes et en identifiant des zones mal desservies dans le but d'y améliorer l'offre de transport.

Grâce à un modèle il est possible d'**analyser des critères environnementaux**, en estimant les émissions de CO2 de plusieurs scénarios par exemple.

En somme, tous projets peuvent être simulés grâce à la modélisation. Ce qui fait de la modélisation des déplacements un bon outil d'aide à la décision pour des questions concernant la mobilité et les transports.

Cependant, tous les modèles possèdent des limites. Celles-ci peuvent être **liées aux données** utilisées (enquêtes, comptages) pouvant être incomplètes, biaisées ou obsolètes. Certains modèles peuvent être calibrés sur des enquêtes datant de plusieurs années ou encore sur des données incomplètes concernant certains modes comme le vélo ou le covoiturage.

De ce fait, mais aussi par soucis d'allègement, des **hypothèses et simplifications** sont parfois obligatoires. Par exemple, le coût généralisé est généralement supposé constant alors qu'en réalité il peut changer au cours du temps. De même que certains facteurs sont exclus : météo, pandémie, grèves, vacances scolaires, etc. De plus, par définition, un modèle est de toute façon toujours une simplification de la réalité, il ne peut pas intégrer toute la complexité de celle-ci.

En d'autres termes, un modèle n'est qu'une représentation partielle et simplifiée de la réalité. Il doit toujours être interprété en tenant compte des hypothèses et des limites qui l'accompagnent.

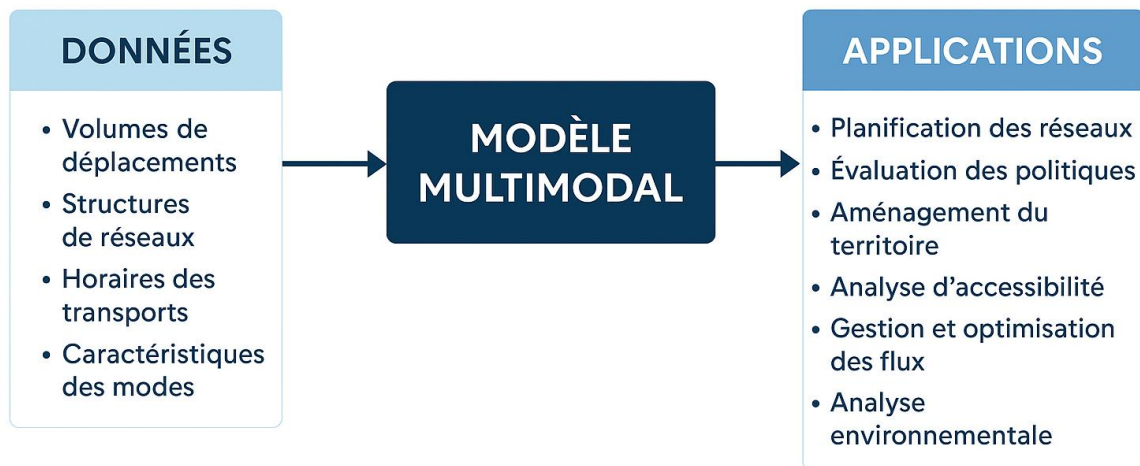


Figure 22 : Schéma synthétique d'un modèle multimodal des déplacements

V. Conclusion

Un chargé d'étude en modélisation est un spécialiste qui utilise des modèles mathématiques pour analyser et prévoir les comportements de mobilité sur un territoire.

Ce métier repose sur l'exploitation de données réelles (enquêtes, comptages, etc.) et sur la construction de modèles multimodaux permettant de simuler des scénarios (nouvelles infrastructures, changement d'offre de transport, restrictions de circulation, etc.). Le chargé d'études travaille à différentes échelles (macro, méso et micro) et suit des méthodes précises, comme le modèle à 4 étapes (génération, distribution, choix modal, affectation).

Son rôle est à la fois technique (traitement de données, paramétrage d'outils, etc.) et stratégique (analyse des impacts sur le trafic, accessibilité, critères environnementaux, etc.). Les résultats, restitués sous formes de cartes, graphiques et rapports constituent des outils d'aide à la décision pour les collectivités, opérateurs et aménageurs.

Ainsi, le chargé d'études en modélisation des déplacements contribue directement à la planification des transports et à l'optimisation des mobilités, tout en tenant compte des contraintes techniques, économiques et environnementales, et en sachant que tout modèle reste une simplification de la réalité.

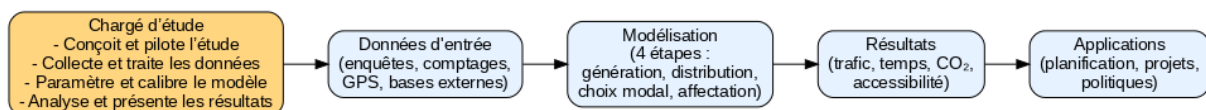


Figure 23 : Schéma synthétique de conclusion

❖ Perspectives professionnelles

Un chargé d'études dans le domaine de la mobilité peut évoluer vers plusieurs voies selon ses compétences, son expérience et ses choix de spécialisation. En effet, il peut prétendre au poste de chef de projet qui consiste à encadrer des projets, à gérer des budgets, des délais et à coordonner des équipes parfois pluridisciplinaires. Le chef de projet est le principal interlocuteur avec les clients. Après avoir été chef de projet, le chargé d'études peut prétendre au poste de directeur de projets (ou directeur d'études) qui consiste à superviser des projets et leurs stratégies et à définir des orientations techniques et méthodologiques.

Le chargé d'études peut également devenir expert en modélisation des déplacements, en SIG et analyse spatiale, en planification urbaine et mobilité durable, ou en évaluation socio-économique.

Il peut aussi s'orienter vers la gestion de politiques publiques de mobilité au sein d'une collectivité publiques ou d'un ministère ou vers la direction d'études stratégiques chez un opérateur de transport.

La recherche est un monde qui lui est également accessible, en devenant enseignant à l'université ou en école d'ingénieur dans les domaines de la mobilité et des transports ou en participant à des programmes de recherche et de développement (nouvelles méthodes de modélisation, etc.)

❖ Enseignements et expériences acquis durant mon stage de fin d'études

Ce stage au sein d'Explain m'a permis de découvrir en profondeur le métier de chargé d'études, et plus particulièrement son application dans le domaine de la mobilité et des transports. J'ai pu constater que cette fonction combine analyse de données, compréhension fine des besoins des territoires et capacité à proposer des solutions concrètes et argumentées.

L'expérience m'a aussi donné l'occasion de me familiariser avec les outils et méthodes utilisés en modélisation des déplacements. J'ai pu mesurer à quel point ces modèles, malgré leurs limites inhérentes à toute simplification, constituent un levier puissant pour anticiper les impacts de projets, orienter les politiques publiques et optimiser les réseaux de transports.

Au-delà des aspects techniques, ce stage m'a sensibilisé à l'importance de la collaboration entre les différents acteurs : collectivités, opérateurs, bureaux d'études, etc. et à la nécessité d'adopter une vision globale des mobilités, intégrant aussi bien les modes doux que les transports collectifs et individuels.

Cette immersion m'a conforté dans mon intérêt pour les enjeux liés à la mobilité durable et à l'aménagement du territoire. Elle a renforcé mes compétences techniques, mon sens de l'analyse et ma capacité à travailler sur des problématiques complexes, tout en développant ma vision stratégique des transports au service des usagers et de l'environnement.

VI. Références

- BOUSQUET, A., Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, & OUARAS, H. (2023). *Modélisation de la demande de déplacements, Étape de génération—Principes méthodologiques et mise en oeuvre*. Cerema. Bron. <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/595319/modelisation-de-la-demande-de-deplacements-etape-de-generation-principes-methodologiques-et-mise-en->
- *Comment comparez-vous les SIG et les principes de conception cartographique ?* (s. d.). Consulté 28 avril 2025, à l'adresse <https://fr.linkedin.com/advice/1/how-do-you-compare-gis-cartographic?lang=fr>
- *Explain | EXPLAIN est un cabinet de conseil et d'expertise dans le domaine de la planification des transports.* (s. d.). Consulté 10 mars 2025, à l'adresse <http://www.explainconsultancy.com/fr/>
- GEH (statistique). (2023). In Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=GEH_\(statistique\)&oldid=204090211](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=GEH_(statistique)&oldid=204090211)
- *Les Enquêtes Mobilité EMC² | Connaissance, modélisation et évaluation de la mobilité* | Cerema. (s. d.). Consulté 10 juillet 2025, à l'adresse <https://www.cerema.fr/fr/activites/mobilites/connaissance-modelisation-evaluation-mobilite/enquetes-mobilite-emc2>
- Müller, D. (s. d.). *Introduction à la théorie des graphes*.
- *Orientation pour tous*. (s. d.). Orientation pour tous. Consulté 7 juillet 2025, à l'adresse <https://www.orientation-pour-tous.fr/>
- Patrick Bonnel. *Prévision de la demande de transport*. Economies et finances. Université Lumière - Lyon II, 2002
- SAS, P. (s. d.). *Chargé(e) d'Études Transport : Découvrez Votre Futur Métier*. PrePeers. Consulté 8 juillet 2025, à l'adresse <https://www.prepeers.co/metiers/transport--logistique--distribution/transport---logistique/charge.e-d-etudes-transport>
- Universalis, E. (s. d.). *MODÉLISATION - Index*. Encyclopædia Universalis. Consulté 7 juillet 2025, à l'adresse <https://www.universalis.fr/index/modelisation/>



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Alice BOSTYN
2024-2025

Transport and mobility engineer : analysis of missions and skills based on the internship.

This report presents the role of a mobility and transport engineer within a private office, whose role is to analyze travel needs, evaluate existing supply, and propose solutions adapted to the territory. It details the construction of a multimodal model : zoning, centroids, road network, empty allocation, travel periods and reasons. Multimodal travel models, despite their limitations related to data and simplifications, constitute an essential decision-making tool for designing more efficient and sustainable transport systems.

Keywords : mobility, transport, models, planning, network.

Explain :

28 rue de la République LYON 69002

Tuteur entreprise :
Laurent JARDINIER
Directeur d'agence

Tuteur académique :
Hervé BAPTISTE