



HAL
open science

PERITHEL. Formes (péri)urbaines, transport, habitat, énergie, environnement, localisation : un bilan prospectif

Charles Raux, Éric Charmes, Lény Grassot, Marie Sévenet, Mindjid Maizia

► To cite this version:

Charles Raux, Éric Charmes, Lény Grassot, Marie Sévenet, Mindjid Maizia. PERITHEL. Formes (péri)urbaines, transport, habitat, énergie, environnement, localisation : un bilan prospectif. [Rapport de recherche] Convention de financement 1417C0036, LAET (Lyon, France); EIFER (European Institute For Energy Research); RIVES (Recherches Interdisciplinaires Ville, Espace, Société); CITERES (CItés, TERritoires, Environnement et Sociétés). 2020, pp.182. halshs-02936767

HAL Id: halshs-02936767

<https://shs.hal.science/halshs-02936767>

Submitted on 11 Sep 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PERITHEL

Formes (péri)urbaines, transport, habitat, énergie,
environnement, localisation : un bilan prospectif

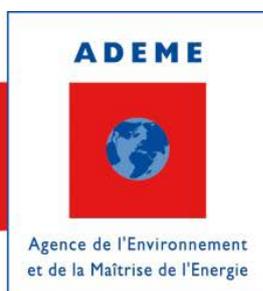
Rapport final

Septembre 2020

Programme ADEME APR MODEVAL URBA

Convention de financement 1417C0036

Coordination technique ADEME : *MARQUET Sarah* – Direction\Service : *VALBONNE
DVTD SOU*



MODEVAL - URBA

RAPPORT DE RECHERCHE



LABORATOIRE
AMÉNAGEMENT
ÉCONOMIE
TRANSPORTS

TRANSPORT
URBAN PLANNING
ECONOMICS
LABORATORY



citeres
UMR 7324

REMERCIEMENTS

Joanne HIRTZEL, postdoctorante au LAET
Maxime HURE, postdoctorant à RIVES-EVS
Marie-Clotilde MEILLERAND, postdoctorante à RIVES-EVS
Sarah MARQUET, ADEME

CITATION DE CE RAPPORT

Charles RAUX, Eric CHARMES, Elise NIMAL, Lény GRASSOT, Marie SEVENET, Mindjid MAIZIA. 2020. PERITHEL. Formes (péri)urbaines, transport, habitat, énergie, environnement, localisation : un bilan prospectif. Rapport final. 178 p.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

SOMMAIRE

SYNTHESE.....	1
INTRODUCTION.....	17
1 FORMES URBAINES ET MOBILITES : QUELLES POLITIQUES PUBLIQUES POUR LES TERRITOIRES PERIURBAINS ?.....	18
2 METHODOLOGIE : SCENARIOS ET CONFIGURATIONS SPATIO- FONCTIONNELLES.....	20
2.1 Une démarche scénariale	20
2.2 Les configurations spatio-fonctionnelles	21
2.3 Les leviers de l’urbanisation, de la technologie et des comportements	36
2.4 Les outils : modélisation MARS et analyse du potentiel de changement	40
2.5 Les indicateurs	47
3 SIMULATIONS DE FORMES URBAINES SUR LES TROIS « CARRES »	50
3.1 Simulations sur le carré Ouest Lyonnais	50
3.2 Simulations sur le carré Métropolitain Lyonnais.....	72
3.3 Simulations sur le carré Ouest Strasbourgeois.....	93
4 SIMULATIONS DE FORMES URBAINES SUR STRASBOURG ET MULHOUSE.....	114
4.1 Simulation de la mobilité sous MARS	114
4.2 Simulation de l’habitat (logement)	116
4.3 Analyses des résultats de scénarios pour Strasbourg et Mulhouse.....	120
4.4 Synthèse.....	144
5 CONCLUSIONS	145
6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	150
7 ANNEXES	152
8 INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	168

SYNTHESE

Le projet PERITHEL vise à définir ce que pourraient être les organisations spatiales et les configurations urbaines souhaitables – ou du moins, acceptables –, aux plans économique, social et environnemental, en tenant compte : des impacts environnementaux, et notamment les émissions de gaz à effet de serre, liés à la mobilité des personnes, mobilité qui doit tenir compte de la localisation des ménages et des coûts supportés par les ménages pour leurs mobilités et leur logement.

Ces questions sur les formes urbaines durables sont inscrites dans des échelles temporelles et spatiales bien définies :

- deux échelles de temps long. Un horizon 2030 d'une part, et 2050 d'autre part, horizon du « facteur 4 » ;
- l'échelle spatiale des territoires étudiés : agglomérations de Lyon, Strasbourg et Mulhouse, ainsi que leurs territoires périurbains.

Au plan empirique mais aussi prospectif, le projet simule divers scénarios de formes urbaines contrastées définies dans le cadre du projet.

PERITHEL est un projet collaboratif mené entre 2014 et 2018 avec comme partenaires le LAET (Laboratoire Aménagement Economie Transports, coordinateur), EIFER (European Institute For Energy Research), l'équipe RIVES (Recherches Interdisciplinaires Ville, Espace, Société) du laboratoire EVS et le laboratoire CITERES (CItés, TERritoires, Environnement et Sociétés). Ce projet a été cofinancé par l'ADEME dans le cadre du l'Appel à Projets de Recherche MODEVAL-URBA.

FORMES URBAINES ET MOBILITES : QUELLES POLITIQUES PUBLIQUES POUR LES TERRITOIRES PERIURBAINS ?

Une première étape de cadrage du problème a permis de mettre en avant de nombreux éléments importants pour l'élaboration de scénarios sur l'évolution future des métropoles françaises¹. Ces éléments relèvent à la fois de l'analyse de la littérature scientifique sur les rapports entre formes urbaines et mobilité, de l'étude des projets d'aménagements aujourd'hui en gestation dans les bureaux d'études et dans les collectivités territoriales et de la prise en compte des réalités morphologiques, sociales et politiques de l'organisation du territoire français.

Un premier point essentiel est que les travaux récents confortent la critique de la densité. Longtemps le débat sur la ville durable s'est articulé autour d'une opposition entre ville dense et ville étalée, opposition fondée sur la célèbre courbe de Peter Newman et Jeffrey Kenworthy. D'un côté, divers travaux scientifiques, dont en France ceux d'Hélène Nessi, sont venus mettre en cause la vigueur de la corrélation entre densité et consommation d'énergie dans les transports. D'un autre côté, et surtout, la densité apparaît comme un indicateur pauvre, et souvent trompeur. La densité est rarement un élément explicatif et les mécanismes en cause sont liés à certains de ces corrélats, au premier chef, la mixité fonctionnelle et la compacité. Ces éléments ont été privilégiés plutôt que la densité dans les scénarios qui seront élaborés.

Dans ce cadre, le polycentrisme, c'est-à-dire de la structuration du périurbain par des pôles plus ou moins compacts, doit être au cœur des scénarios étudiés. Pour le périurbain, nous avons identifié trois types de centralités possibles :

¹ Cette section reprend la synthèse, élaborée par Eric Charmes, du Livrable 1 du projet (Huré, M., Meillerand, M.-C., Charmes, E. *Formes urbaines, mobilités et politiques publiques : Quelles politiques pour les territoires périurbains ?* 2016)

- celles souvent mises en avant constituées par les gares ; il est fait notamment référence sur ce point le modèle du *Transit Oriented Development* de Peter Calthorpe ;
- celles déjà constituées par les bourgs et les petites villes qui parsèment le périurbain ;
- celles constituées par les centres commerciaux ; l'idée est plus nouvelle, mais les centralités commerciales existantes sont appelées à évoluer vers plus de multifonctionnalité et cette tendance pourrait être exploitée.

Deux dimensions peuvent être mobilisées pour développer ces trois types de centralité et leur conférer un rôle structurant : l'intermodalité et la concentration de l'urbanisation. Ces deux dimensions sont complémentaires jusqu'à un certain point. Le télétravail peut également jouer un rôle dans le développement de ces centralités.

La mise en question de l'importance de la densité dans la détermination de la durabilité des villes invite également à tester des scénarios à densité égale, c'est-à-dire où l'on évalue non pas des configurations urbaines plus ou moins denses, mais des localisations différentes de constructions de densité égale. Rappelons à ce propos la configuration particulière du périurbain. Le périurbain n'est pas le terrain du *sprawl* (i.e. de l'étalement continu d'un pôle urbain), mais celui de l'émiettement. Le périurbain est du rural sous influence urbaine. Il est constitué pour près de 9 cas sur 10 de communes de moins de 2000 habitants.

Dans ce cadre, il est intéressant de comparer des scénarios avec une production pavillonnaire similaire, mais avec d'un côté une distribution éparpillée dans de nombreuses communes (scénario au fil de l'eau) et d'un autre côté une concentration dans des pôles. Une telle comparaison semble d'autant plus intéressante que le désir pour la maison individuelle reste fort. L'intérêt d'une telle simulation est également appuyé par les travaux d'Antoine Brès et Xavier Desjardins autour de « carrés » pris dans des territoires semi-périurbains de Picardie en France et de Franconie en Allemagne. Il apparaît qu'à densité et à infrastructures de transports comparables, il existe d'importantes différences d'accessibilité au réseau ferroviaire en fonction de la localisation des constructions. Ces travaux confortent d'autres études qui indiquent que la faible densité de l'habitat pavillonnaire n'est pas nécessairement un obstacle au développement de mobilités autres que l'automobile, y compris ferroviaire. Le cas de Karlsruhe, la « Mecque » du tram train, le montre bien.

La comparaison avec l'Allemagne met ici en évidence un point clé : l'importance de la distribution territoriale des pouvoirs d'urbanisme. Dans le périurbain français on le sait, ces pouvoirs sont particulièrement émiettés, à la différence de l'Allemagne (ou de la Grande-Bretagne). Pour les urbanistes et les aménageurs, un enjeu majeur est le dépassement de cet émiettement politique pour coordonner l'urbanisation. Il s'agit de faire pour le périurbain ce qui a été fait avec les pôles urbains, dont l'intégration politique est significative (même si elle n'est pas complète). Le projet PERITHEL peut aider à éclairer les débats politiques et à montrer les enjeux d'une plus grande coopération. Dans ce cadre, il convient de tenir grand compte de la structuration des pouvoirs locaux. La tendance au fil de l'eau est celle d'un maintien d'une relative autonomie des communes. Les autres scénarios, potentiellement complémentaires, sont ceux d'une intégration à l'échelle intercommunale, chaque intercommunalité pouvant alors concentrer l'urbanisation sur un ou deux pôles, et ceux d'une intégration à une échelle plus large, difficile à ce stade à identifier clairement, mais qui pourrait être le département.

Pour la périurbanisation, les coûts de la mobilité constituent des freins évidents. Ceci étant, en termes prospectifs, divers éléments invitent à ne pas surestimer ces freins. D'abord, comme cela est indiqué, de très nombreux déplacements s'effectuent dans les territoires périurbains sur de courtes distances (dans le « carré » Picard évoqué plus haut, 40 % des déplacements entre domicile et lieu de travail ont une longueur inférieure à 6 km). Cette importance des courtes distances peut être

renforcée, surtout dans le cadre de scénarios où s'affirmerait le polycentrisme [il est toutefois à noter qu'une critique classique du polycentrisme est que celui-ci facilite l'éclatement des métropoles, avec des déplacements entre pôles qui peuvent être allongés par rapport à la situation initiale]. Par ailleurs, cette importance des courtes distances ouvre la voie à des alternatives à l'automobile telles que le vélo. Sur des distances plus longues, le covoiturage semble pouvoir jouer un rôle significatif. L'intérêt de l'auto-partage pour le périurbain reste en revanche à démontrer. Et les expériences de transport à la demande ne sont pas parvenues à faire la preuve de leur capacité à changer les choses. En d'autres termes, dans les hypothèses retenues pour les choix modaux, des politiques volontaristes en faveur du vélo ou du covoiturage devront être envisagées. Par ailleurs, les hypothèses doivent tenir compte des potentialités de développement du parc de véhicules électriques et hybrides et de leur impact sur la mobilité.

METHODOLOGIE : SCENARIOS ET CONFIGURATIONS SPATIO-FONCTIONNELLES

Une démarche scénariale

Cette démarche scénariale s'appuie certes sur la littérature scientifique mais aussi sur certaines des conclusions du cadrage précédent que nous reprenons ci-après en quatre points :

1. Les travaux récents sur les rapports entre formes urbaines et mobilité confortent la critique de la densité. D'une part la vigueur de la corrélation entre densité et consommation d'énergie est remise en cause. D'autre part la densité est un indicateur pauvre, voire trompeur car elle n'explique pas à elle seule les comportements de mobilité. D'autres facteurs tels que la compacité ou la mixité fonctionnelle entrent en jeu.
2. Les scénarios étudiés doivent se fonder sur le polycentrisme, entendu comme la structuration du périurbain par des pôles plus ou moins compacts, avec trois types de centralités possibles : autour des gares ferroviaires ; autour des bourgs ; autour des centres commerciaux.
3. De ce qui précède, on en déduit qu'il faut évaluer, à densité équivalente, des formes spatiales différentes (concentration vs éparpillement/émiettement), en individuel ou en collectif. Ces réflexions s'appuient principalement sur les travaux de A. Brès et alii sur les « carrés » périurbains en Picardie et en Allemagne.
4. De nombreux déplacements dans les territoires périurbains s'effectuent sur de courtes distances : leur importance pourrait se renforcer dans des scénarios polycentriques, de même qu'avec des politiques volontaristes en faveur du vélo ou du covoiturage.

Toutefois, l'expression « forme urbaine » mérite d'être précisée. Selon les sources et selon les travaux, la forme urbaine peut renvoyer à l'enveloppe morphologique d'une agglomération, à son fonctionnement ou à la structure spatiale des activités. D'autres considèrent qu'une agglomération est composée de plusieurs formes urbaines comme un bâti pavillonnaire ou des grands ensembles par exemple. Loin d'être exhaustive, cette énumération permet de montrer l'importance de clarifier ce que nous entendons par l'expression « forme urbaine » dans le cadre de PERITHEL. Un consensus s'est opéré autour d'une **combinaison entre un tissu urbain (le cadre bâti, la densité et les réseaux) et une organisation, un fonctionnement d'échanges (et donc de mobilité) entre les différents pôles de l'agglomération. Nous parlerons ainsi de *configuration spatio-fonctionnelle*.**

Ainsi, chaque scénario à tester est le résultat d'une combinaison de plusieurs éléments à définir à savoir : une configuration spatio-fonctionnelle et un parc de véhicules, ce dernier composant le volet « technologique » des scénarios, ainsi que des leviers comportementaux. Chaque scénario doit être décliné pour chacune des trois agglomérations testées (Lyon, Mulhouse, Strasbourg) et leurs territoires périurbains.

Quatre configurations spatio-fonctionnelles « cibles » ont été définies, selon deux axes, l'un relatif à la répartition de la population – donc des logements – (uniquement sur quelques pôles versus éparpillés au prorata des populations communales existantes), l'autre à leur densité (extension de l'habitat en individuel versus intensification en collectif). Ces configurations sont présentées dans le tableau ci-après.

	Extension <i>Habitat individuel autour des tâches urbaines</i>	Intensification <i>Habitat collectif dans la tâche bâtie principale</i>
Polarités <i>Création des nouveaux logements uniquement sur les pôles</i>	PE Étalement maîtrisé	PI Pôles compacts
Eparpillement <i>Répartition égale des nouveaux logements sur les communes ou bâtis existants</i>	EE Habitat individuel éparpillé	EI Habitat collectif éparpillé

Tableau 1 : Les quatre configurations spatio-fonctionnelles cibles

Les territoires d'études

Ces quatre configurations spatio-fonctionnelles sont appliquées dans différents territoires d'études, avec des variantes méthodologiques propres à chacun des territoires :

- prélèvement territorial² d'un « carré périurbain lyonnais », d'un « carré métropolitain lyonnais » et d'un « carré périurbain strasbourgeois », qui sont tous trois analysés selon une méthode de potentiel de mobilité explicitée ci-après ;
- configurations adaptées aux cas des agglomérations urbaines de Mulhouse et de Strasbourg en fonction des documents de planification urbaine et des possibilités offertes par le modèle MARS calibré sur ces deux agglomérations.

Le choix de travailler sur des « carrés » périurbains a été déterminé par la volonté de faire apparaître des différences autrement écrasées par le poids démographique de l'agglomération centrale.

Le carré périurbain dit « carré Ouest Lyonnais » considère des communes situées à l'ouest de la métropole lyonnaise. Il s'agit d'un territoire d'urbanisation dispersée, ne comprenant pas de ville de plus de 20.000 habitants, incluant aussi bien du rural (du hameau au bourg) que du périurbain (lotissements, zones d'activité, maisons récentes), avec un côté d'environ 30 km. Quatre pôles ont été choisis : Tarare, L'Arbresle-Eveux, Anse et Saint-Laurent-de-Chamousset.

Le carré urbain dit « carré Métropolitain Lyonnais » comprend 125 communes (y compris les 9 arrondissements de Lyon) appartenant à la métropole lyonnaise, sur 35 x 50 km. On retient un « pôle central » autour de la commune-centre de Lyon, comprenant Villeurbanne et les communes de la 1^{ère} couronne (dont la surface bâtie représente au moins 75% de la surface de la commune). La couronne environnante (2^{ème} couronne) forme la zone LV2). Le reste du carré, Z3, comprend toutes

² En nous inspirant de la démarche de Brès et alii (2011) et Brès (2015).

les autres communes. Enfin, à l'intérieur de Z3, cinq pôles sont définis, Neuville-sur-Saône, Meyzieu, Brignais, St Pierre de Chandieu et Givors.

Le carré périurbain dit « carré Ouest Strasbourgeois » considère des communes situées à l'ouest de la métropole strasbourgeoise. Comme le carré « Ouest Lyonnais », il s'agit d'un territoire d'urbanisation dispersée, ne comprenant pas de ville de plus de 20.000 habitants, incluant aussi bien du rural (du hameau au bourg) que du périurbain (lotissements, zones d'activité, maisons récentes), avec un côté d'environ 30 km. Quatre pôles sont définis : Saverne, Molsheim-Mutzig, Marlenheim-Wasselonne, Hochfelden-Schwindratzheim.

Pour le modèle MARS, le territoire choisi pour l'agglomération de Strasbourg fait l'objet d'une étude unique afin d'intégrer à la fois les préoccupations urbaines, périurbaines et rurales. La zone d'étude comprend les intercommunalités impliquées dans le SCOTERS, ainsi que des territoires connexes (par exemple Obernai ou Wasselonne) qui jouxtent directement le syndicat mixte regroupant les intercommunalités reliés au SCOTERS. La commune allemande de Kehl, ville miroir de Strasbourg a également été incluse dans le périmètre d'étude en raison de l'importance des échanges transfrontaliers.

La zone d'étude présente une forte centralité par la commune de Strasbourg et sa banlieue proche. Cette agglomération concentre la majorité des habitants, emplois et logements et est donc le centre principal du périmètre. Néanmoins, des polarités secondaires particulièrement notables, en dehors de la banlieue de Strasbourg (dépendante de sa ville-pôle), ont été définies sur le périmètre, avec trois communes : Brumath, Obernai et Erstein.

Concernant l'agglomération de Mulhouse, la zone d'étude ne comprend pas les communes ou intercommunalités récemment intégrées à l'agglomération, car le zonage adapté à la simulation via MARS a été défini antérieurement. De même que pour le cas d'étude de Strasbourg, une forte polarisation est observée autour de Mulhouse, menant à un déséquilibre urbain/périurbain. En sus de ce pôle majeur représenté par la commune de Mulhouse, trois communes (hors banlieue) ont été retenues en tant que polarités secondaires : Ungersheim, Ruelisheim et Zillisheim.

Les leviers de l'urbanisation, de la technologie et des comportements

Le levier propre de l'urbanisation

Par ce levier, nous entendons essentiellement la localisation résidentielle des ménages. Une première question se pose, relative à la « durabilité » des formes spatiales par elles-mêmes, du point de vue des mobilités indépendamment de toute variation des technologies de transport, des conditions de déplacement ou des comportements individuels.

Nous considérons tout d'abord un scénario totalement fictif, celui d'un espace vierge dans lequel la population actuelle et la population nouvelle à l'horizon 2050 seraient (re)localisées dans les pôles que nous avons définis. Cette population adopte les comportements de mobilité actuels des habitants de ces pôles (notamment les distances parcourues – moindres en moyenne, la part plus importante de la marche à pied dans ces pôles, etc.). Ce scénario de relocalisation est bien sûr irréalisable (du moins dans le monde que nous envisageons) mais il a l'intérêt de donner un repère quant au caractère éventuellement souhaitable de telles formes de localisation.

Ces scénarios de localisation extrêmes peuvent être testés avec notre outil de simulation sur les trois « carrés » (périurbains ouest lyonnais et strasbourgeois, métropolitain lyonnais) mais pas avec le

modèle MARS, modèle d'interaction transport-usages du sol calibré sur les configurations spatiales actuelles de Strasbourg et Mulhouse (cf. infra les outils).

Nous testons ensuite des scénarios, moins irréalistes, dans lesquels l'action sur les localisations ne joue plus que sur les populations nouvelles. Là encore l'outil de simulation peut être utilisé dans le cas des trois carrés, mais aussi le modèle MARS dans le cas des agglomérations de Strasbourg et Mulhouse.

Les facteurs d'émission des véhicules

Concernant la voiture particulière et les bus, nous nous référons au HBEFA (Handbook Emission Factors) qui fournit les facteurs d'émission au véhicule-km projetés jusqu'à 2030, selon différentes catégories de véhicules, pour le CO₂ (comme principal gaz à effet de serre dans le transport) et différentes catégories de polluants.

Nous nous référons également aux exercices de prospective de l'ADEME (2012) :

- Vision ADEME 2030 de prospective « tendanciel volontariste » : parc automobile roulant des voitures en moyenne à 100 g CO₂ / km.
- Vision ADEME 2050 de prospective « normative » (avec objectif du Facteur 4) : parc automobile roulant des voitures en moyenne à 49 g CO₂ / km.

Leviers comportementaux

Des leviers comportementaux peuvent être identifiés et testés du point de vue de la mobilité à origines-destinations fixées. Il s'agit des potentialités de report modal, vers les transports collectifs ou vers des modes alternatifs comme le vélo voire le vélo à assistance électrique en fonction des distances parcourues. A cela s'ajoute le covoiturage qui, en jouant sur le taux de remplissage des véhicules est analogue à la réduction des émissions par véhicule-kilomètre du point de vue des scénarios technologiques.

D'autres leviers sont également testés avec le modèle MARS, à savoir les conséquences d'incitations locales, réglementaires, fiscales ou tarifaires sur les comportements de mobilité, de manière à atteindre les potentiels de report modal évoqués ci-dessus.

Les outils : analyse du potentiel de changement et modélisation MARS

L'analyse du potentiel de changement pour les trois « carrés »

La démarche générale consiste à tout d'abord s'appuyer sur les comportements de mobilité observés par grandes catégories sociodémographiques croisées avec les motifs de sortie : actifs pour le travail, scolaires pour le lieu d'études, autres motifs. Nous supposons ensuite une mobilité maintenue : nombre de sorties (ou boucles, i.e. suite de déplacements effectués depuis le départ du domicile jusqu'au retour au domicile), destinations maintenues et donc distances parcourues également maintenues. Ces comportements sont enfin projetés à l'aide des projections démographiques de l'INSEE, sous l'influence de scénarios technologiques et d'évolution des comportements de mobilité. Nous testons alors des reports modaux potentiels sur les transports collectifs, le covoiturage et le vélo avec son option du vélo à assistance électrique (VAE).

Concernant le covoiturage, nous estimons un potentiel maximum ainsi que des scénarios bas et haut de transfert sur la base des navettes domicile-travail (base MOBPRO). Ces estimations tiennent

compte des origines-destinations communes, de pourcentages variés de basculement des navetteurs sur le covoiturage et d'arrangements possibles dans le remplissage des véhicules.

Les scénarios de développement de l'usage du vélo combinent une politique forte d'équipement en infrastructures, notamment de pistes cyclables, et l'émergence voire la généralisation du VAE. Son rayon d'action potentiel (fonction de la capacité de la batterie) est de plusieurs dizaines de kilomètres à une vitesse de 20 à 25 km/h (limite réglementaire pour être autorisé à circuler sur piste cyclable). Sur la base de ces données techniques il semble raisonnable d'envisager un usage effectif au quotidien pour les déplacements d'une distance (aller) jusqu'à 10 km, soit une durée maximale de 25 à 30 mn. Cela correspond à une boucle totale de 20 km.

Concernant les transports collectifs, nous estimons le potentiel maximal de report modal sur la base d'un principe d'« imitation », à savoir « si une personne le fait, tous le pourraient ». De ce potentiel maximal sont ensuite déduits des scénarios « bas » et « haut » de transfert modal.

Les indicateurs environnementaux concernent les émissions de polluants locaux réglementés (CO, HC, NO_x, PM) et les émissions de CO₂. Pour ces dernières, nous nous référons à la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) qui définit des orientations stratégiques pour la mise en œuvre, par secteur d'activité dont le transport, de la « transition vers une économie bas carbone et durable ». Nous traduisons ces objectifs stratégiques en un objectif de -30% à l'horizon 2030, et un objectif de réduction « d'au moins 70% » d'ici à 2050, par rapport à 2014.

Le modèle MARS

Le modèle MARS³, utilisé par EIFER pour des travaux sur l'évaluation de l'impact énergétique du véhicule électrique sur les villes de Strasbourg et Mulhouse, a également été utilisé dans le cadre de PERITHEL.

MARS est un modèle stratégique intégré simulant dynamiquement l'utilisation du sol et le transport. Ce modèle LUTI (Land Use and Transport Interaction) permet de modéliser les interactions existant entre l'occupation des sols (fonctionnalités) et le transport. A partir du modèle déjà calibré sur ces deux villes, la simulation de scénarios de formes urbaines contrastées apporte des éléments de réponse sur l'impact énergétique de l'étalement urbain. Le modèle fournit des résultats concernant les émissions de polluants, l'énergie, les coûts de transport et l'accessibilité.

Les potentiels de transfert estimés selon les modalités exposées ci-dessus ont été injectés dans MARS comme report modal cible, pour les transports collectifs et pour le vélo (le covoiturage n'est pas un mode existant dans MARS).

RESULTATS

A partir du potentiel de changement dans les « carrés » lyonnais et strasbourgeois

Les simulations de scénarios extrêmes de relocalisation de toute la population (actuelle + attendue en 2050) dans les pôles sur les trois carrés (périurbains ouest lyonnais et strasbourgeois, métropolitain lyonnais) montrent un effet réel mais modulé selon la dynamique démographique et les contextes de mobilité des territoires concernés.

³ Développé par la Technische Universität Wien (TUW).

Dans le carré périurbain lyonnais (OL, cf. Tableau 58) la croissance de population anticipée à 2050 est forte (+31%) et supérieure à celle du carré métropolitain (+21%), et l'usage de la voiture est très largement prédominant, y compris pour le domicile-travail. Un scénario de relocalisation dans les pôles n'aboutit qu'à ralentir la croissance des distances parcourues en voiture au profit des transports collectifs et surtout de la marche à pied, et in fine ne fait que ralentir la croissance des émissions de CO₂ (+13%).

Scénarios	variation population			variation distance					variation CO ₂
	totale	OL 4 pôles	OL hors pôles	totale	VPP	VPC	TC	MAP	totale
Localisations									
Population 2050 relocalisée dans les pôles	31%	647%	-100%	21%	2%	9%	48%	174%	13%

Tableau 2 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré OL

Dans le carré périurbain strasbourgeois (OS, cf. Tableau 122) la situation est assez différente puisque la croissance de population anticipée à 2050 est plus faible, +17%, et à peine plus élevée que celle anticipée pour l'agglomération de Strasbourg, y compris pour les actifs (+7%). L'usage de la voiture est également très largement prédominant, y compris pour le domicile-travail. Un scénario de relocalisation dans les pôles aboutit à réduire les distances parcourues en voiture au profit des transports collectifs et surtout de la marche à pied, et in fine les émissions de CO₂ (-3%).

Scénarios	variation population			variation distance					variation CO ₂
	totale	OS 4 pôles	OS hors pôles	totale	VPP	VPC	TC	MAP	totale
Localisations									
Population 2050 relocalisée dans les pôles	17%	252%	-100%	4%	-8%	-3%	32%	95%	-3%

Tableau 3 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré OS

La tendance est bien plus marquée pour le carré métropolitain lyonnais (CM, cf. Tableau 4) du fait de la pratique assez élevée des transports collectifs et de la marche à pied par les habitants du pôle central (LV1). Non seulement la distance totale diminue (-6%) mais celles parcourues en voiture particulière passager et conducteur diminuent encore plus (-23% et -21%) et in fine la baisse des émissions de CO₂ est significative (-17%).

Scénarios	variation population					variation distance					variation CO ₂
	totale	LV1	LV2	Z3-pôles	Z3-reste	totale	VPP	VPC	TC	MAP	totale
Localisations											
Population totale en 2050 relocalisée en LV1	21%	96%	-100%	-100%	-100%	-6%	-23%	-21%	26%	32%	-17%

Tableau 4 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré CM

La localisation des populations apparaît donc comme un élément important sur le chemin de la réduction des émissions de CO₂. Dans certains territoires en faible croissance démographique elle peut provoquer une réduction des distances parcourues, dans d'autres fortement urbanisés et concentrés, avec une bonne offre en transports collectifs, comme le pôle central de la métropole lyonnaise, la réduction des émissions est même significative.

Cependant, on est encore très loin des objectifs de la SNBC (-70% en 2050). Cela tient essentiellement au fait que si vertueux soient (ou puissent être considérés) les comportements de mobilité des habitants du pôle central, la projection de ces comportements sur la population totale ne permet pas d'atteindre les objectifs fixés. En outre, le coût social d'une telle relocalisation rend sa réalisation très improbable.

En résumé, les « leviers » de l'urbanisme sur la localisation résidentielle des ménages n'ont pas vraiment les effets espérés du point de vue de la stratégie bas carbone. Cela nous conduit

à écarter cette solution extrême, même sur le long terme (au-delà de 2050) et à rechercher des paquets de mesures à la fois plus réalistes et plus efficaces, combinant actions sur les localisations résidentielles de la population nouvelle, leviers technologiques et actions sur les mobilités.

Le Tableau 5 résume les scénarios de covoiturage pour le domicile-travail dans les trois carrés, le Tableau 6 les scénarios de transferts modaux vers les transports collectifs pour le domicile-travail et pour les boucles effectuées par les scolaires pour se rendre à leur lieu d'études, et le Tableau 7 les scénarios de parts modales pour le vélo-VAE (en partant d'une part modale initiale proche de zéro, y compris pour le carré périurbain strasbourgeois où elle se situe à moins de 1%) pour ces mêmes boucles ainsi que les motifs autres.

	Potentiel maximum	Scénario volontariste haut	Scénario volontariste bas
Carré CM			
Taux de remplissage	2,2	1,8	1,3
Réduction des v-km	50%	40%	20%
Carré OL			
Taux de remplissage	1,5	1,4	1,2
Réduction des v-km	30%	20%	10%
Carré OS			
Taux de remplissage	1,8	1,5	1,2
Réduction des v-km	40%	30%	12%

Tableau 5 : Scénarios de covoiturage domicile-travail dans les trois carrés

	Part modale initiale	Potentiel maximum	Transfert maximum	Transfert volontariste haut	Transfert volontariste bas
Carré CM					
Actifs boucles travail	26%	71%	45 points	34 points	14 points
Scolaires 11-14 ans boucles études	32%	42%	10 points	10 points	5 points
Scolaires 15-17 ans boucles études	62%	68%	6 points	6 points	3 points
Carré OL					
Actifs boucles travail	8%	20%	12 points	9 points	4 points
Scolaires 11-14 ans boucles études	50%	60%	10 points	10 points	5 points
Scolaires 15-17 ans boucles études	58%	62%	4 points	4 points	2 points
Carré OS					
Actifs boucles travail	8%	30%	22 points	12 points	5 points
Scolaires 11-14 ans boucles études	24%	33%	9 points	9 points	5 points
Scolaires 15-17 ans boucles études	57%	65%	8 points	8 points	4 points

Tableau 6 : Scénarios de parts modales TC dans les trois carrés

	Potentiel maximum (parts modales)	Scénario volontariste haut	Scénario volontariste bas
Carré CM			
Actifs boucles travail	41%	40%	20%
Scolaires 5-10 ans boucles études	18%	18%	9%
Scolaires 11-14 ans boucles études	30%	30%	15%
Scolaires 15-17 ans boucles études	52%	52%	26%
Autres motifs	37%	24%	12%
Carré OL			
Actifs boucles travail	32%	32%	16%
Scolaires 5-10 ans boucles études	25%	25%	13%
Scolaires 11-14 ans boucles études	34%	34%	17%
Scolaires 15-17 ans boucles études	42%	42%	21%
Autres motifs	40%	28%	14%
Carré OS			
Actifs boucles travail	30%	30%	15%
Scolaires 5-10 ans boucles études	18%	18%	9%
Scolaires 11-14 ans boucles études	25%	25%	13%
Scolaires 15-17 ans boucles études	40%	40%	20%
Autres motifs	47%	30%	15%

Tableau 7 : Scénarios de parts modales vélo-VAE dans les trois carrés

Ces mesures sont appliquées séparément dans un premier temps (cf. Tableau 8).

Effets imputés indépendamment	En 2030 (volontariste bas)			En 2050 (volontariste haut)		
	CM	OL	OS	CM	OL	OS
Emissions CO ₂ des moteurs	-30%	-30%	-31%	-61%	-62%	-63%
Transports collectifs (TC)	-10%	-2%	-2%	-20%	-4%	-5%
Covoiturage	-10%	-6%	-6%	-20%	-14%	-16%
Vélo-VAE	-20%	-17%	-17%	-40%	-35%	-33%

Tableau 8 : Effets séparés sur les émissions de CO₂ des différents leviers dans les trois carrés

Une grande partie du chemin est effectuée grâce à l'évolution technique des moteurs, mais cela est insuffisant à l'horizon 2050. Les objectifs de la SNBC ne peuvent être atteints que si sont également mises en œuvre des politiques volontaristes pour le covoiturage et le vélo, en accompagnement de l'évolution anticipée de la technologie.

Les simulations du potentiel de changement à partir de ces actions combinées sur les trois carrés montrent que l'on peut arriver en 2030 et en 2050 à se conformer aux objectifs de la SNBC (cf. Tableau 9).

	2030 (volontarisme bas)	2050 (volontarisme haut)
Carré Métropolitain Lyonnais (population éparpillée au-delà de LV1)		
Evolution technologique + Covoiturage + TC	- 31 %	- 59 %
Evolution technologique + Covoiturage + VAE	- 40 %	- 75 %
Carré Ouest Lyonnais (population éparpillée)		
Evolution technologique + covoiturage + VAE	-39 %	-72 %
Carré Ouest Strasbourgeois (population éparpillée)		
Evolution technologique + covoiturage + VAE	-42 %	-77 %

Tableau 9 : Effets combinés des différents leviers dans les trois carrés

Par ailleurs, **relativement à l'effet des politiques combinant technologie, covoiturage et vélo, l'effet différencié des localisations résidentielles de la population nouvelle (polarités vs éparpillement) semble assez faible dans les trois carrés, du point de vue des indicateurs environnementaux liés à la mobilité (cf. Tableau 10). Il faut toutefois préciser que ce faible impact tient au poids du stock déjà constitué. Rappelons que si on part d'un espace vierge, les effets des localisations résidentielles deviennent très significatifs.**

	var. Population	Eparpillement	var. CO ₂	Polarité maximale	var. CO ₂
Carré Métro Lyonnais	+21%	Eparpillement partout	+20%	Dans LV1	+14%
		Eparpillement partout sauf LV1	+31%	Dans les 5 pôles périphériques	+31%
Carré Ouest Lyonnais	+31%	Eparpillement partout	+27%	Dans les pôles	+23%
Carré Ouest Strasb.	+17%		+11%	Dans les pôles	+9%

Tableau 10 : Effets propres de la localisation résidentielle de la population nouvelle prévue en 2050 dans les trois carrés (hors leviers)

Cependant, dans le cas particulier des deux carrés périurbains, la concentration de la population nouvelle dans les pôles a un impact certain dans la redistribution des distances parcourues en faveur de la marche à pied (et d'autres modes de proximité comme le vélo dans un scénario volontariste vélo-VAE), ce qui n'est pas sans conséquence sur la qualité de vie des personnes concernées. On peut en outre conjecturer qu'un effort soutenu vers la « polarité » résidentielle dans le périurbain produirait des effets plus marqués à plus long terme (au-delà de 2050).

Toutefois, il faut souligner une incertitude (qui s'ajoute aux autres) dans le cadre de notre postulat de mobilité maintenue, à savoir l'incertitude sur l'évolution des distances parcourues. Une croissance de celles-ci, comme on a pu l'observer dans le passé à certaines périodes de croissance économique, pourrait rendre plus difficile l'atteinte des objectifs de la SNBC.

La simulation du potentiel de changement sur nos trois carrés, périurbains et métropolitain, nous permet de désigner les pistes les plus prometteuses, à savoir le développement de l'usage du vélo-VAE et du covoiturage.

A partir du modèle MARS sur Strasbourg et Mulhouse

L'intérêt du modèle MARS, calibré sur Strasbourg et Mulhouse (avec les projections de population jusqu'en 2042), est de tester les mesures qui permettraient d'arriver aux objectifs de parts modales précédemment énoncés. MARS permet de tester différentes mesures incitant au report modal vers les transports collectifs ou le vélo, mais pas le covoiturage dans la version

actuelle du modèle. A noter cependant que ce calibrage intègre d'office l'évolution technologique anticipée en ce qui concerne les émissions des moteurs.

Les simulations sur Strasbourg et Mulhouse confirment également le faible impact d'une différenciation selon des configurations spatio-fonctionnelles variées pour la population nouvelle, que ce soit du point de vue des polluants locaux réglementés ou des émissions de CO₂ (cf. Tableau 11). En revanche, au plan de l'énergie consommée dans les transports, la configuration polarités est plus vertueuse que celle de l'éparpillement à Strasbourg.

2042	Variation CO ₂		Total Energy - kwh		Coûts		Accessibilité au lieu de travail (bus)	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Strasbourg								
Polarités	-64%	-65%	+3%	+0%	+24%	+21%	+8%	+12%
Eparpillement	-61%	-62%	+10%	+7%	+34%	+30%	+2%	+8%
Mulhouse								
Polarités	-64%	-64%	+2%	+2%	+22%	+23%	+27%	+18%
Eparpillement	-64%	-64%	+2%	+0%	+23%	+21%	+28%	+17%

Tableau 11 : Effets propres de la localisation résidentielle de la population nouvelle prévue en 2042 à Strasbourg et à Mulhouse

Concernant le vélo, la seule manière de tester une politique forte en faveur du vélo dans MARS est d'augmenter la vitesse moyenne de ce mode de transport de 15 km/h à 20 km/h. L'effet de report modal en faveur du vélo n'est observable que dans le cas de Strasbourg, de l'ordre de quelques points de part de marché.

Concernant l'application de politiques fortes en faveur des transports collectifs, on note pour l'essentiel une nette réduction de la consommation d'énergie par rapport au scénario de référence précédent.

Localisations	Total Energy- kwh		Coûts		Accessibilité au lieu de travail (bus)	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Strasbourg						
Polarités	-14%	-17%	+4%	+1%	+83%	+79%
Eparpillement	-6%	-11%	+13%	+7%	+100%	+84%
Mulhouse						
Polarités	-1%	-1%	+14%	+15%	+21%	+12%
Eparpillement	-3%	-6%	+13%	+10%	+16%	+4%

Tableau 12 : Effets de politiques fortes en faveur des transports collectifs à Strasbourg et à Mulhouse

Les simulations de MARS sur Strasbourg et Mulhouse montrent que les objectifs de la SNBC peuvent être atteints en 2030 en combinant ces différentes mesures (de l'ordre de -40% pour Strasbourg, -35% pour Mulhouse) et presque atteints en 2050 (près de -70% pour Strasbourg, au-delà de -60% pour Mulhouse, cf. Tableau 161). Il est raisonnable de penser que l'ajout d'incitations au covoiturage permettrait d'atteindre les objectifs de la SNBC en 2050.

	2030		2042	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Strasbourg				
Pôles	-41%	-41%	-67%	-68%
Eparpillement	-37%	-43%	-64%	-72%
Mulhouse				
Pôles	-32%	-33%	-63%	-63%
Eparpillement	-35%	-35%	-63%	-64%

Tableau 13 : Effets combinés des différents leviers sur les émissions de CO₂, dans les cas de Strasbourg et Mulhouse

Le bilan de polluants réglementés a démontré que les effets d'évolution urbanistique (ainsi que les politiques promouvant l'utilisation accrue de transports en commun) étaient inférieurs aux effets technologiques. Ainsi, la réduction des émissions de polluants (cf. Tableau 14) est particulièrement forte pour l'ensemble des composés étudiés, lors de la simulation standard. Cependant, toutes les configurations spatio-fonctionnelles aboutissent aux mêmes évolutions, selon le polluant étudié.

2042	CO		HC		Nox		PM	
	Ext.	Intens.	Ext.	Intens.	Ext.	Intens.	Ext.	Intens.
Strasbourg								
Pôles	-82%	-82%	-98%	-98%	-95%	-95%	-95%	-95%
Eparpillement	-80%	-81%	-98%	-98%	-95%	-95%	-95%	-95%
Mulhouse								
Pôles	-82%	-82%	-98%	-98%	-95%	-95%	-95%	-95%
Eparpillement	-82%	-82%	-98%	-98%	-95%	-95%	-95%	-95%

Tableau 14 : Effet des configurations spatio-fonctionnelles sur les émissions de polluants réglementés, dans les cas de Strasbourg et Mulhouse

CONCLUSION

Précisons tout d'abord que **les conclusions auxquelles nous parvenons se fondent sur un critère premier, celui des émissions de CO₂, dans la visée de la Stratégie Nationale Bas Carbone**. La mise en avant d'autres critères comme le coût du logement, la satisfaction de certaines préférences résidentielles pour la proximité ou la mixité fonctionnelle, le lien social ou encore la qualité de vie, aurait peut-être donné d'autres résultats. Des critères d'ordre économique comme les dépenses privées et publiques dans les transports n'ont pas non plus été mis en avant mais ils sont tout de même pris en considération, notamment pour ce qui est du scénario de développement des transports collectifs (cf. infra).

A la première question, relative à la « **durabilité** » des formes urbaines par elles-mêmes du point de vue des mobilités – et du seul critère « carbone », nous avons répondu sur la base de l'évaluation d'un scénario fictif, celui d'un espace vierge dans lequel la population actuelle et la population nouvelle à l'horizon 2050 seraient (re)localisées dans les pôles que nous avons définis dans chacun des trois « carrés », périurbains lyonnais et strasbourgeois, métropolitain lyonnais.

L'effet de ces re-localisations fictives serait réel mais modulé selon la dynamique démographique et les contextes de mobilité des territoires concernés. Dans le carré périurbain lyonnais (OL) la croissance de population anticipée à 2050 est forte (supérieure à celle du carré métropolitain) et l'usage de la voiture est très largement prédominant y compris pour le domicile-travail. Un tel scénario de relocalisation dans les pôles n'aboutirait qu'à ralentir la croissance des distances parcourues en voiture au profit des transports collectifs et surtout de la marche à pied, et in fine ne ferait que ralentir celle des émissions de CO₂. Dans le carré périurbain strasbourgeois (OS) la situation est assez différente puisque la croissance de population anticipée à 2050 est plus faible (et à peine plus élevée que celle anticipée pour l'agglomération de Strasbourg) y compris pour les actifs, l'usage de la voiture étant également très largement prédominant y compris pour le domicile-travail. Un scénario de relocalisation dans les pôles aboutirait à réduire les distances parcourues en voiture au profit des transports collectifs et surtout de la marche à pied, et in fine les émissions de CO₂. La tendance est bien plus marquée pour le carré métropolitain lyonnais (CM) du fait de la pratique assez élevée des transports collectifs et de la marche à pied par les habitants du pôle central (LV1). Non seulement la distance totale diminuerait mais celles parcourues en voiture particulière diminuerait encore plus et in fine la baisse des émissions de CO₂ serait significative.

Cependant, si la re-localisation des populations (actuelles et nouvelles) peut être un élément important sur le chemin de la réduction des émissions de CO₂, on est encore très loin des objectifs de la SNBC (-70% en 2050). En outre, une telle relocalisation forcée paraît socialement irréalisable. Cela nous conduit à écarter cette piste, même sur le long terme (au-delà de 2050) et à rechercher des paquets de mesures à la fois plus réalistes et plus efficaces, combinant d'une part des actions sur les localisations résidentielles – ne jouant cette fois-ci que sur les populations nouvelles attendues aux horizons 2030 et 2050, d'autre part des actions sur les mobilités.

Il apparaît à travers nos diverses simulations que les alternatives de localisation de la population – uniquement nouvelle cette fois-ci – ne représentent que peu d'enjeux du point de vue du principal critère que nous utilisons (le carbone), même si la polarité peut avoir quelques vertus du point de vue de la consommation d'énergie dans les transports. Par ailleurs, le coût social et politique d'une localisation résidentielle « dirigée » de la population nouvelle modère l'intérêt de telles politiques.

Cependant, les politiques de localisation que nous avons simulées ont des impacts que nous n'avons pas discutés, y compris sur le plan environnemental, par exemple sur la biodiversité et l'agriculture à travers l'artificialisation des sols ou encore l'émission de l'urbanisation (résultant de l'éparpillement) qui aggrave ces effets à quantité égale d'artificialisation. En outre, les limites de nos outils de modélisation font que nous n'avons pas véritablement pris en compte les effets systémiques de ces politiques. Les scénarios d'offre de transport et de changements de comportements de mobilité que nous avons étudiés par la suite seraient très probablement favorisés par la concentration de l'urbanisation sur les pôles, qu'il s'agisse des infrastructures pour le vélo, du covoiturage ou des transports en commun. Soulignons par ailleurs que notre recherche montre que **si les formes urbaines ont un effet sur la durabilité, cet effet s'exerce surtout au travers des localisations, moins au travers de la densité.**

La simulation du potentiel de changement sur nos trois carrés, périurbains et métropolitain, nous permet de désigner les pistes les plus prometteuses pour se conformer à la Stratégie Nationale Bas Carbone, à savoir le développement de l'usage du vélo-VAE et du covoiturage. Avec le modèle MARS, calibré sur Strasbourg et Mulhouse, il a été possible de tester les mesures incitant au report modal vers les transports collectifs ou le vélo qui permettraient d'y arriver.

Cependant, pour arriver aux reports modaux cibles, notamment pour les transports collectifs, **les mesures incitatives injectées dans le modèle MARS doivent être très fortes,** même en considérant une montée en puissance progressive jusqu'en 2050 : fréquences des transports collectifs doublées, création de voies dédiées, capacité des routes réduite, nombre de places de parking réduit de moitié, péages routiers et forte augmentation des taxes sur le carburant. On peut **douter de la faisabilité sociale et politique de certaines de ces mesures.**

Par ailleurs, **concernant le développement d'offres de mobilité alternatives à la voiture solo, la question de la faisabilité financière (du point de vue des finances publiques) se pose également.** L'estimation du coût (public et privé) des différents scénarios demanderait des calculs assez fins selon les territoires concernés ou des valeurs à élaborer dans le cas de nouveautés comme le déploiement du covoiturage. On peut toutefois donner quelques indications qualitatives et quantitatives.

Sur les coûts de l'offre de transport, les éléments quantitatifs les plus récents que l'on ait pu trouver datent de 2009 (Orfeuil, 2011) mais ils sont instructifs quant à leur ordre de grandeur : 89 cts d'euro par voyageur-kilomètre en coût global pour les transports urbains de province (dont 72 cts de

dépense publique – collectivités, versement-transport et emprunts – et près de 90% en fonctionnement – le reste étant la part usager) ; 2,3 cts d'euro de dépense publique pour la route par voyageur-kilomètre dans les aires urbaines de province auxquels s'ajoutent les 20 cts par véhicule-kilomètre représentant la part usager. Evidemment il ne s'agit pas d'argumenter en faveur de la route sur la base de ces seules considérations financières : ces chiffres ne font que refléter l'équilibre actuel entre offre et demande et ne tiennent pas compte de l'encombrement relatif des différents modes de transport sur les infrastructures. Cependant, ils permettent de souligner la difficile équation à laquelle les finances publiques sont confrontées.

Concernant le vélo, le coût public d'un développement massif d'infrastructures cyclables sur les territoires étudiés reste à évaluer. Le coût privé est celui de l'équipement des cyclistes en véhicule et ses accessoires. Mais le coût de fonctionnement pour les finances publiques serait bien moindre que celui des transports collectifs. On peut donc présumer que le coût au cycliste-kilomètre serait également sans commune mesure avec l'équivalent au passager-kilomètre pour les transports collectifs.

Concernant le covoiturage, la composante essentielle du coût global serait du coût privé supporté par les plateformes de mise en relation et les co-voitureurs. La composante publique serait la mise en œuvre et l'exploitation de voies réservées, notamment en entrée d'agglomération. Les expérimentations prochaines de voies réservées devraient permettre d'apporter des éléments quant à leurs coûts. Mais là aussi on peut présumer que le coût public au covoitureur-kilomètre serait bien moindre que l'équivalent pour les transports collectifs.

Ces considérations conjuguées aux potentialités d'atteinte effective des objectifs de la SNBC indiquent clairement que les pistes à privilégier de manière soutenable pour le développement d'offres alternatives à la voiture solo sont le covoiturage et le vélo avec son option VAE. Mais cela suppose, malgré tout, la mise en œuvre de politiques publiques très volontaristes.

INTRODUCTION

Le projet PERITHEL vise à définir ce que pourraient être les organisations spatiales et les configurations urbaines souhaitables – ou du moins, acceptables –, aux plans économique, social et environnemental, en tenant compte : des impacts environnementaux, et notamment les émissions de gaz à effet de serre, liés à la mobilité des personnes, une mobilité qui doit tenir compte de la localisation des ménages ; des coûts supportés par les ménages pour leurs mobilités et leur logement.

Initialement l'ambition du projet était plus large puisqu'elle incluait l'analyse des impacts environnementaux et énergétiques des bâtiments selon leurs formes et leurs localisations, ainsi que l'analyse des transports de marchandises en milieu urbain. Cette ambition a dû être réduite compte tenu des ressources finalement disponibles.

Ces questions sur les formes urbaines durables sont inscrites dans des échelles temporelles et spatiales bien définies :

- deux échelles de temps long. Un horizon 2030 d'une part, et 2050 d'autre part, horizon du « facteur 4 » ;
- l'échelle spatiale des territoires étudiés : agglomérations de Lyon, Strasbourg et Mulhouse et leurs territoires périurbains.

Au plan empirique mais aussi prospectif, le projet simule divers scénarios de formes urbaines contrastées définies dans le cadre du projet.

Ce rapport final reprend l'ensemble des travaux effectués dans le cadre du projet. Une première section, de cadrage du problème, permet d'en désigner les principaux enjeux. La deuxième section, méthodologique, nous permet d'exposer la démarche scénariale que nous avons mise en œuvre, les configurations spatio-fonctionnelles, les leviers technologiques et comportementaux étudiés et les outils de modélisation et de simulation que nous avons utilisés pour produire des indicateurs sur les trois dimensions du développement durable. La troisième et la quatrième section présentent les résultats de simulation d'abord sur trois « carrés » (ouest et métropolitain lyonnais, ouest strasbourgeois), ensuite sur les deux agglomérations de Strasbourg et Mulhouse. Enfin, la conclusion synthétise et met en perspective ces résultats.

1 FORMES URBAINES ET MOBILITES : QUELLES POLITIQUES PUBLIQUES POUR LES TERRITOIRES PERIURBAINS ?

Une première étape de cadrage du problème a permis de mettre en avant de nombreux éléments importants pour l'élaboration de scénarios sur l'évolution future des métropoles françaises⁴. Ces éléments relèvent à la fois de l'analyse de la littérature scientifique sur les rapports entre formes urbaines et mobilité, de l'étude des projets d'aménagements aujourd'hui en gestation dans les bureaux d'études et dans les collectivités territoriales et de la prise en compte des réalités morphologiques, sociales et politiques de l'organisation du territoire français.

Un premier point essentiel est que les travaux récents confortent la critique de la densité. Longtemps le débat sur la ville durable s'est articulé autour d'une opposition entre ville dense et ville étalée, opposition fondée sur la célèbre courbe de Peter Newman et Jeffrey Kenworthy. D'un côté, divers travaux scientifiques, dont en France ceux d'Hélène Nessi, sont venus mettre en cause la vigueur de la corrélation entre densité et consommation d'énergie dans les transports. D'un autre côté, et surtout, la densité apparaît comme un indicateur pauvre, et souvent trompeur. La densité est rarement un élément explicatif et les mécanismes en cause sont liés à certains de ces corrélats, au premier chef, la mixité fonctionnelle et la compacité. Ces éléments devront être privilégiés plutôt que la densité dans les scénarios qui seront élaborés.

Dans ce cadre, le polycentrisme, c'est-à-dire de la structuration du périurbain par des pôles plus ou moins compacts, devra être au cœur des scénarios étudiés. Pour le périurbain, le rapport identifie trois types de centralités possibles :

- a- celles souvent mises en avant constituées par les gares. Fait notamment référence sur ce point le modèle du *Transit Oriented Development* de Peter Calthorpe.
- b- celles déjà constituées par les bourgs et les petites villes qui parsèment le périurbain
- c- celles constituées par les centres commerciaux. L'idée est plus nouvelle, mais les centralités commerciales existantes sont appelées à évoluer vers plus de multifonctionnalité et cette tendance pourrait être exploitée.

Deux dimensions peuvent être mobilisées pour développer ces trois types de centralité et leur conférer un rôle structurant : l'intermodalité et la concentration de l'urbanisation. Ces deux dimensions sont complémentaires jusqu'à un certain point. Le télétravail peut également jouer un rôle dans le développement de ces centralités (voire le concept Y développé dans le rapport).

La mise en question de l'importance de la densité dans la détermination de la durabilité des villes invite également à tester des scénarios à densité égale, c'est-à-dire où l'on évalue non pas des configurations urbaines plus ou moins denses, mais des localisations différentes de constructions de densité égale. Rappelons à ce propos la configuration particulière du périurbain. Le périurbain n'est pas le terrain du *sprawl* (i.e. de l'étalement continu d'un pôle urbain), mais celui de l'émiettement. Le périurbain est du rural sous influence urbaine. Il est constitué pour près de 9 cas sur 10 de communes de moins de 2000 habitants.

Dans ce cadre, il serait intéressant de comparer des scénarios avec une production pavillonnaire similaire, mais avec d'un côté une distribution éparpillée dans de nombreuses communes (scénario au fil de l'eau) et d'un autre côté une concentration dans des pôles. Une telle comparaison semble d'autant intéressante que le désir pour la maison individuelle reste fort. L'intérêt d'une telle simulation est également appuyé par les travaux d'Antoine Brès et Xavier Desjardins autour de

⁴ Cette section reprend la synthèse, élaborée par Eric Charmes, du Livrable 1 du projet (Huré, M., Meillerand, C., Charmes, E. *Formes urbaines, mobilités et politiques publiques : Quelles politiques pour les territoires périurbains ?* 2016)

« carrés » pris dans des territoires semi-périurbains de Picardie en France et de Franconie en Allemagne. Il apparaît qu'à densité et à infrastructures de transports comparables, il existe d'importantes différences d'accessibilité au réseau ferroviaire en fonction de la localisation des constructions. Ces travaux confortent d'autres études qui indiquent que la faible densité de l'habitat pavillonnaire n'est pas nécessairement un obstacle au développement de mobilités autres que l'automobile, y compris ferroviaire. Le cas de Karlsruhe, la « Mecque » du tram train, le montre bien.

La comparaison avec l'Allemagne met ici en évidence un point clé : l'importance de la distribution territoriale des pouvoirs d'urbanisme. Dans le périurbain français on le sait, ces pouvoirs sont particulièrement émiettés, à la différence de l'Allemagne (ou de la Grande-Bretagne). Pour les urbanistes et les aménageurs, un enjeu majeur est le dépassement de cet émiettement politique pour coordonner l'urbanisation. Il s'agit de faire pour le périurbain ce qui a été fait avec les pôles urbains, dont l'intégration politique est significative (même si elle n'est pas complète). Le projet PERITHEL peut aider à éclairer les débats politiques et à montrer les enjeux d'une plus grande coopération. Dans ce cadre, il convient de tenir grand compte de la structuration des pouvoirs locaux. La tendance au fil de l'eau est celle d'un maintien d'une relative autonomie des communes. Les autres scénarios, potentiellement complémentaires, sont ceux d'une intégration à l'échelle intercommunale, chaque intercommunalité pouvant alors concentrer l'urbanisation sur un ou deux pôles, et ceux d'une intégration à une échelle plus large, difficile à ce stade à identifier clairement, mais qui pourrait être le département.

Ce rapport traite enfin des enjeux des pratiques de mobilité. Pour la périurbanisation, les coûts de la mobilité constituent des freins évidents. Ceci étant, en termes prospectifs, divers éléments invitent à ne pas surestimer ces freins. D'abord, comme cela est indiqué, de très nombreux déplacements s'effectuent dans les territoires périurbains sur de courtes distances (dans le « carré » Picard évoqué plus haut, 40 % des déplacements entre domicile et lieu de travail ont une longueur inférieure à 6 km). Cette importance des courtes distances peut être renforcée, surtout dans le cadre de scénarios où s'affirmerait le polycentrisme [il est toutefois à noter qu'une critique classique du polycentrisme est que celui-ci facilite l'éclatement des métropoles, avec des déplacements entre pôles qui peuvent être allongés par rapport à la situation initiale]. Par ailleurs, cette importance des courtes distances ouvre la voie à des alternatives à l'automobile telles que le vélo. Sur des distances plus longues, le covoiturage semble pouvoir jouer un rôle significatif. L'intérêt de l'auto-partage pour le périurbain reste en revanche à démontrer. Et les expériences de transport à la demande ne sont pas parvenues à faire la preuve de leur capacité à changer les choses. En d'autres termes, dans les hypothèses retenues pour les choix modaux, des politiques volontaristes en faveur du vélo ou du covoiturage devront être envisagées. Par ailleurs, les hypothèses devront tenir compte des potentialités de développement du parc de véhicules électriques et hybrides et de leur impact sur la mobilité.

2 METHODOLOGIE : SCENARIOS ET CONFIGURATIONS SPATIO-FONCTIONNELLES

Dans cette section méthodologique nous exposons tout d'abord la *démarche scénariale* que nous avons mise en œuvre. Celle-ci s'appuie d'une part sur des *configurations spatio-fonctionnelles*, d'autre part sur des *leviers de l'urbanisation, de la technologie et des comportements*. Ces scénarios sont simulés avec des *outils de modélisation et de simulation* pour produire des *indicateurs* sur les trois dimensions du développement durable.

2.1 Une démarche scénariale

Cette démarche scénariale s'appuie certes sur la littérature mais aussi sur certaines des conclusions du livrable 1 (E. Charmes) que nous reprenons ci-après en quatre points :

5. Les travaux récents sur les rapports entre formes urbaines et mobilité confortent la critique de la densité. D'une part la vigueur de la corrélation entre densité et consommation d'énergie est remise en cause. D'autres part la densité est un indicateur pauvre, voire trompeur car elle n'explique pas à elle seule les comportements de mobilité. D'autres facteurs tels que la compacité ou la mixité fonctionnelle entrent en jeu.
6. Les scénarios étudiés doivent se fonder sur le polycentrisme, entendu comme la structuration du périurbain par des pôles plus ou moins compacts, avec trois types de centralités possibles : autour des gares ferroviaires ; autour des bourgs ; autour des centres commerciaux.
7. De ce qui précède, on en déduit qu'il faut évaluer, à densité équivalente, des formes spatiales différentes (concentration vs éparpillement/émiettement), en individuel ou en collectif. Ces réflexions s'appuient principalement sur les travaux de A. Brès et alii sur les « carrés » périurbains en Picardie et en Allemagne.
8. De nombreux déplacements dans les territoires périurbains s'effectuent sur de courtes distances : leur importance pourrait se renforcer dans des scénarios polycentriques, de même qu'avec des politiques volontaristes en faveur du vélo ou du covoiturage.

Toutefois, l'expression « forme urbaine » mérite d'être précisée. Selon les sources et selon les travaux, la forme urbaine peut renvoyer à l'enveloppe morphologique d'une agglomération, à son fonctionnement ou à la structure spatiale des activités. D'autres considèrent qu'une agglomération est composée de plusieurs formes urbaines comme un bâti pavillonnaire ou des grands ensembles par exemple. Loin d'être exhaustive, cette énumération permet de montrer l'importance de clarifier ce que nous entendons par l'expression « forme urbaine » dans le cadre de PERITHEL. Un consensus s'est opéré autour d'une combinaison entre un tissu urbain (le cadre bâti, la densité et les réseaux) et une organisation, un fonctionnement d'échanges (et donc de mobilité) entre les différents pôles de l'agglomération. Nous parlerons ainsi de *configuration spatio-fonctionnelle*.

Ainsi, chaque scénario à tester est le résultat d'une combinaison de plusieurs éléments à définir à savoir : une configuration spatio-fonctionnelle, un parc de véhicules, ce dernier composant le volet « technologique » des scénarios, ainsi que des leviers comportementaux. Chaque scénario doit être décliné pour chacune des trois agglomérations testées (Lyon, Mulhouse, Strasbourg).

Quatre configurations spatio-fonctionnelles « cibles » ont été définies, selon deux axes, l'un relatif à la répartition de la population – donc des logements – (uniquement sur quelques pôles versus éparpillés au prorata de l'existant), l'autre à leur densité (extension en individuel versus intensification en collectif). Ces configurations sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 15 : Les quatre configurations spatio-fonctionnelles cibles

	Extension <i>Habitat individuel autour des tâches urbaines</i>	Intensification <i>Habitat collectif dans la tâche bâtie principale</i>
Polarités <i>Création des nouveaux logements uniquement sur les pôles</i>	PE Étalement maîtrisé	PI Pôles compacts
Eparpillement <i>Répartition égale des nouveaux logements sur les communes ou bâtis existants</i>	EE Habitat individuel éparpillé	EI Habitat collectif éparpillé

D'après la littérature (Pointereau & Coulon, 2009), la surface moyenne d'urbanisation par ménage dans le périurbain est aujourd'hui de l'ordre de 1000 m², aussi avons nous décidé de faire de cette valeur le standard de la surface occupée par chaque nouvelle construction de logement individuel dans le périurbain (configurations « par extension »). Les logements supplémentaires résultant des projections d'augmentation de la population sont répartis au prorata de la population existante des communes. Le supplément de surface de sol à urbaniser est supposé s'étendre autour des centres des communes (cas de l'éparpillement) ou par débordement autour des pôles (cas des polarités).

Deux horizons temporels sont considérés, l'un à 2030 et l'autre à 2050. Les scénarios intègrent bien sûr des hypothèses technologiques quant aux consommations d'énergie unitaires des véhicules mais aussi des options d'aménagement urbain volontaristes, favorisant par exemple une « compaction » de la morphologie du bâti. Alors qu'à l'horizon 2030 seront envisagés plutôt des scénarios de continuité, intégrant des projets de transport et de localisation des individus et activités planifiés dans les différentes agglomérations, à l'horizon 2050 le travail s'appuiera sur des formes urbaines plus contrastées, correspondant pour certaines à des scénarios de rupture.

2.2 Les configurations spatio-fonctionnelles

Nous présentons les configurations spatio-fonctionnelles élaborées pour chacun des territoires d'étude, à savoir Lyon, Strasbourg et Mulhouse. Ces configurations spatio-fonctionnelles sont adaptées avec des variantes méthodologiques propres à chacun des territoires : prélèvement territorial d'un « carré péri-urbain » lyonnais, d'un « carré métropolitain » lyonnais et d'un « carré péri-urbain » strasbourgeois, qui seront toutes trois analysées selon une méthode de potentiel explicitée ci-après ; configurations adaptées aux cas de Mulhouse et de Strasbourg en fonction des documents de planification urbaine et des possibilités offertes par le modèle MARS calibré sur ces deux agglomérations.

En effet, nous souhaitons nous inspirer de la démarche de Brès et alii (2011) avec le « carré picard » par exemple dans le cas des territoires d'urbanisation dispersée : au-delà de la notion trompeuse « d'étalement urbain », il s'agit de territoires constitués d'une multiplicité de petits agrégats urbains (hameaux, villages, bourgs ou petites villes) illustrant les « figures discrètes de l'urbain généralisé » (Brès, 2015).

Il s'agit de ne pas utiliser un territoire politico-administratif existant ni des catégories statistiques préconçues (« périurbain », « rural ») le plus souvent en référence à la dépendance aux « pôles urbains » les plus proches, mais de préférer un « prélèvement territorial ». Par ailleurs, nous souhaitons étudier des zones contrastées par leur forme d'urbanisation, en l'occurrence deux dans le cas de Lyon : un contexte plutôt périurbain et un contexte urbain (centré sur la Métropole de Lyon). Ce sont des quadrilatères, choisis et délimités selon des critères liés à leur structure démographique, à leur contexte d'urbanisation et à leur localisation dans l'espace. L'analyse du carré ouest strasbourgeois, également périurbain, vise à confirmer ou infirmer les analyses effectuées dans le contexte lyonnais.

Le carré urbain dit « carré Métropolitain » encadre les communes appartenant à la métropole lyonnaise, et le carré périurbain dit « carré Ouest Lyonnais » considère des communes situées à l'ouest de la métropole lyonnaise. Les pôles des configurations sont définis de manière exogène par les chercheurs, selon des critères démographiques, historiques, d'équipements et de localisation, à partir des informations de recensement et d'information disponible dans les documents de planification comme les SCOT.

2.2.1 *Le « carré Ouest Lyonnais »*

Notre choix s'est porté sur l'ouest lyonnais (comme il aurait pu porter sur l'est et le sud, mais nous ne souhaitons pas multiplier le nombre de zones à étudier). Suivant la logique du « carré picard » il s'agit d'un territoire d'urbanisation dispersée, ne comprenant pas de ville de plus de 20.000 habitants, incluant aussi bien du rural (du hameau au bourg) que du périurbain (lotissements, zones d'activité, maisons récentes), avec un côté d'environ 30 km. Notons que la constitution de notre carré s'est effectuée indépendamment de celle effectuée dans le cadre du projet FRUGAL (Brès et al, 2017), dont nous n'avons eu connaissance qu'en 2017, bien après le démarrage de notre projet.

Les différents documents de planification d'urbanisme ont été consultés (SCOT 2030 pour l'agglomération lyonnaise, SCOT Ouest Lyonnais, SCOT Beaujolais, SCOT des Monts du Lyonnais). Une constante de tous ces documents est d'« organiser le territoire autour des polarités et des transports collectifs », notamment ferrés, donc autour des gares ferroviaires.

La logique du « prélèvement territorial » veut que le territoire étudié se situe à l'intersection de ces différentes zones de planification politico-administratives.

La zone choisie permet d'intégrer un grand nombre de communes périurbaines et rurales (plus de 80% de maisons individuelles), dont la plus grande atteint 10.000 habitants environ (Tarare). La majorité d'entre elles sont comprises dans l'aire urbaine de Lyon, à l'exception de Tarare qui, entourée de quelques communes, représente une aire urbaine indépendante. Elle est aussi considérée comme « pôle moyen » dans la classification de l'INSEE, ce qui traduit un fonctionnement propre (nombre d'emplois compris entre 5.000 et 10.000), et une dépendance à Lyon qui reste relative comparée aux autres communes. Ces dernières font pour la plupart partie de la « couronne d'un grand pôle » en l'occurrence celui de Lyon.

L'intégration, au sud, de la communauté de communes de Chamousset en Lyonnais apporte à la zone d'étude un ensemble de communes plus rurales, ce qui nous permet d'enrichir la diversité du contexte d'urbanisation.

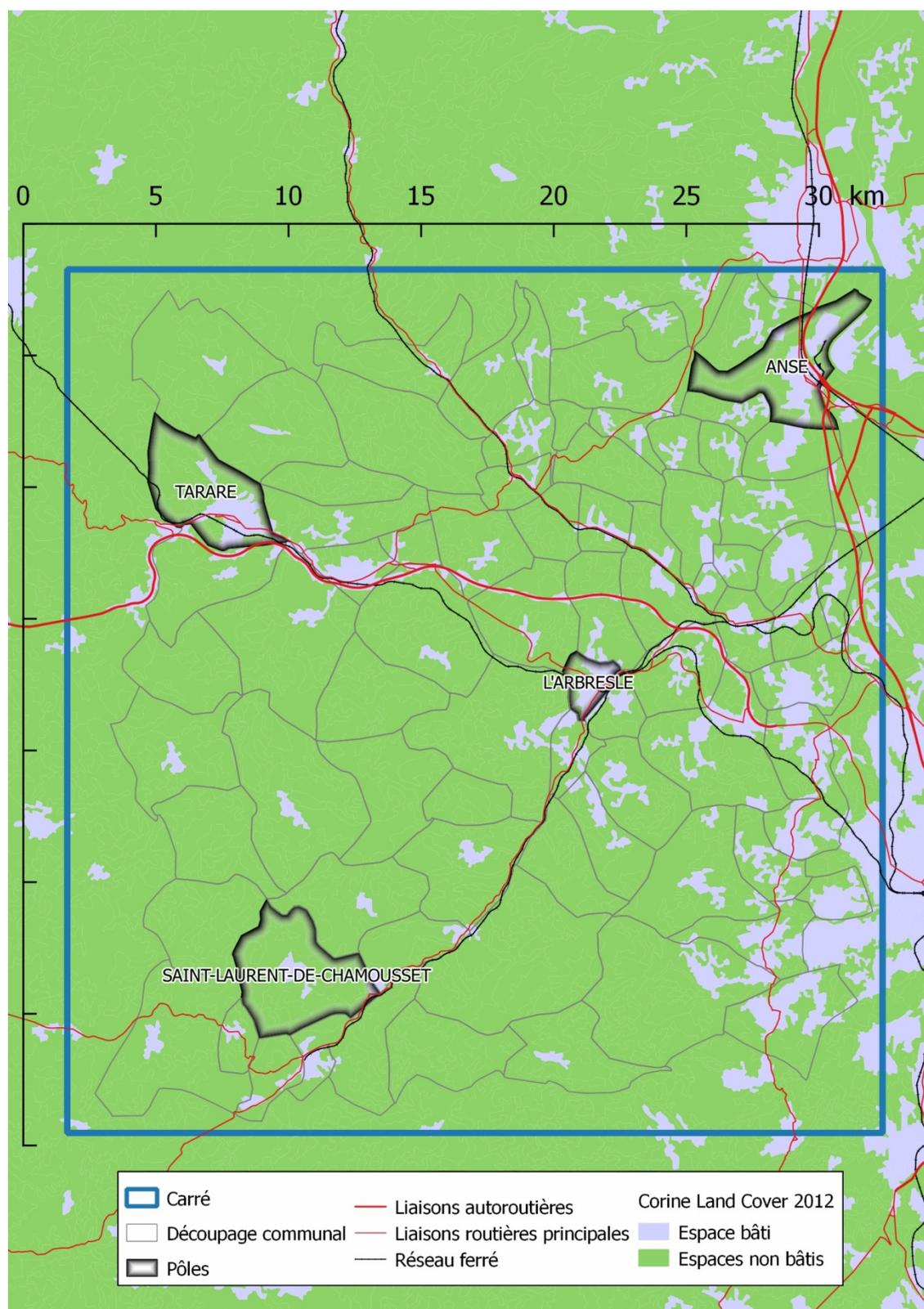


Figure 1 : Le carré Ouest Lyonnais et ses 4 pôles

Au nord une partie des communes de la communauté de Beaujolais-Pierres-Dorées est intégrée. L'inclusion de Villefranche-sur-Saône a été débattue mais finalement rejetée : le poids démographique (33.840 habitants en 2007) et l'attractivité de la ville pourraient orienter et biaiser trop fortement les résultats sur le reste de la zone d'étude. Il a donc été décidé de délimiter le carré au nord juste au-dessus de Anse.

L'autoroute A89 (ouverte en 2013 pour la partie reliant Lyon, mais à péage) traverse les territoires proches de l'Arbresle et Tarare en Est-Ouest. Cela crée à l'évidence des pressions périurbaines supplémentaires sur cette zone.

Le périmètre du carré ainsi délimité a un côté d'une trentaine de kilomètres environ et comprend 81 communes (cf. liste des communes en annexe), pour une population totale de 135.619 habitants en 2007 (et 145.728 en 2013).

Les documents des différents SCOT proposent un ensemble de 18 polarités toutes définies par la présence d'une gare TER. Nous avons choisi un nombre de pôles restreint afin de mieux discriminer les configurations entre elles.

- Tarare à l'ouest : c'est une commune importante, polarisante, représentant une aire urbaine indépendante de l'aire urbaine de Lyon.
- L'Arbresle / Eveux : elle a une position plutôt centrale dans le carré, située à la fois sur la N7 et au croisement de plusieurs lignes ferrées régionales. L'Arbresle est également identifiée comme une commune sur laquelle concentrer le développement dans le SCOT de l'Ouest Lyonnais.
- Anse au nord-est : elle est à proximité de Villefranche-sur-Saône, située sur la jonction entre l'A6 et l'A46.
- Saint-Laurent-de-Chamousset au sud : commune faiblement peuplée, sans gare TER, mais néanmoins considérée comme un pôle à développer dans le SCOT des Monts du Lyonnais.

2.2.2 *Le « carré Métropolitain Lyonnais »*

La seconde zone considérée concerne la Métropole du Grand Lyon (nommée alors « Carré Métropolitain Lyonnais »). Un quadrilatère entourant le périmètre de la métropole est donc à définir. Les polarités de cette zone sont à préciser à l'aide des documents du SCOT 2030.

Le contexte d'usage du sol est bien sûr très différent du carré périurbain de l'ouest lyonnais. Le SCOT 2030 prône une organisation multipolaire autour de 22 polarités, ce qui est trop dans le cadre de notre étude. La carte ci-après illustre l'étendue de la tâche bâtie, bien au-delà de Lyon et pose la question de la délimitation de ce pôle central et de son poids dans l'analyse des configurations projetées.

Après débat autour de ces éléments, nous choisissons de délimiter un « pôle central » autour de la commune-centre de Lyon. On retient dans le « pôle central », outre Lyon et Villeurbanne, les communes dont la surface bâtie (espaces bâtis au sens de Corine Land Cover 2012) représente au moins 75% de la surface de la commune. On considère que pour les communes de ce pôle central (LV1) toute « extension » (i.e. habitat individuel) ne peut se faire que par débordement au-delà de ce pôle, soit dans la couronne environnante (2^{ème} couronne, LV2). Par contre il peut y avoir « intensification » dans LV1, par construction d'immeubles collectifs (en hauteur). Le reste du carré, Z3, comprend toutes les autres communes.

Afin de bien discriminer les résultats potentiels, pour les configurations de polarités alternatives, on se limite à cinq communes (=pôles) autres que le pôle central, soit Neuville-sur-Saône, Meyzieu, Brignais, St Pierre de Chandieu et Givors. Ces cinq communes sont sélectionnées à partir des « polarités urbaines » définies dans le document SCOT 2030 et sont toutes situées dans la zone Z3.

Le Carré Métropolitain comprend in fine 125 communes (y compris les 9 arrondissements de Lyon, cf. annexe).

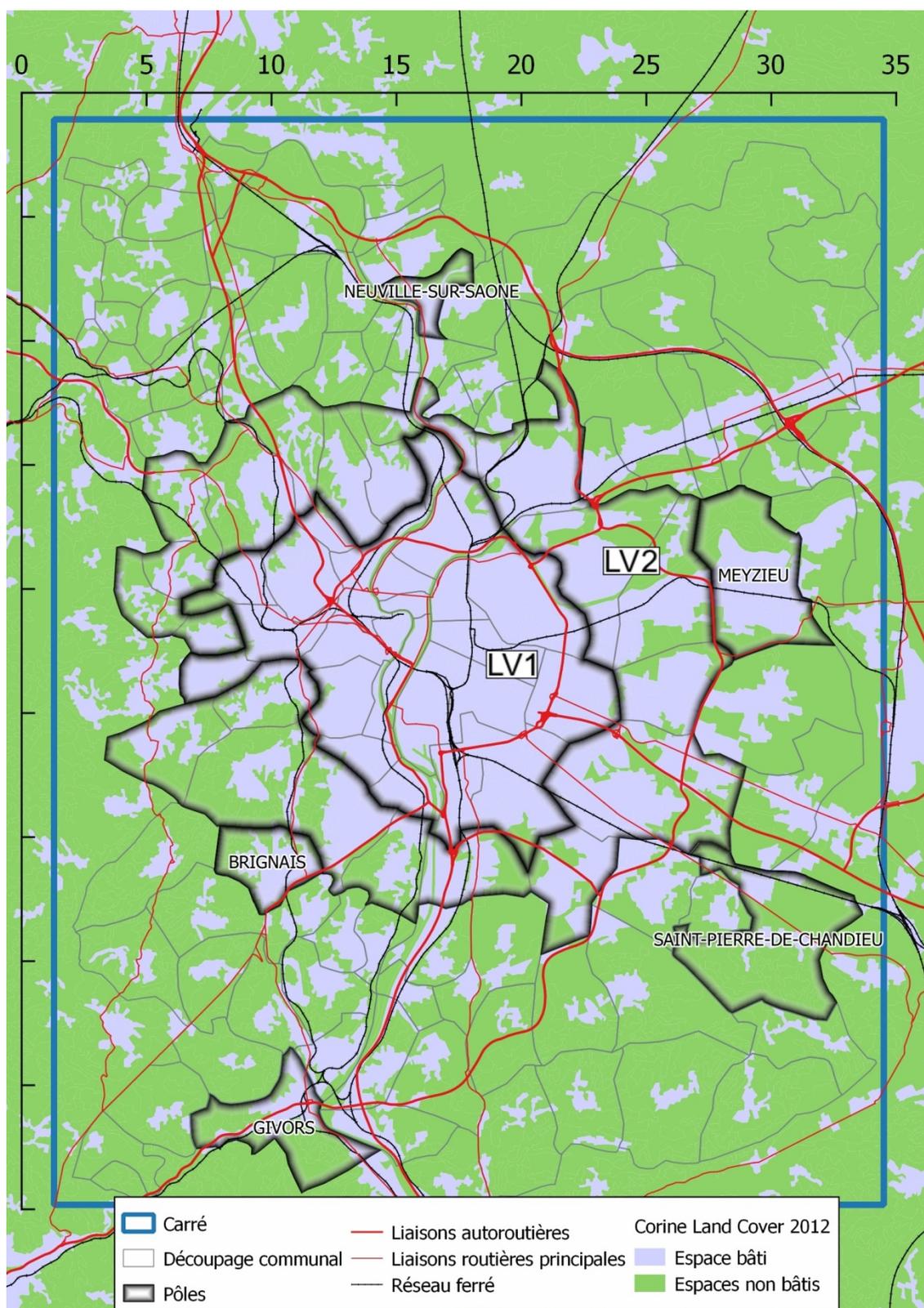


Figure 2 : Le carré Métropolitain Lyonnais : couronnes et pôles

Etant donné le poids démographique du pôle central et sa couverture bâtie initiale, les configurations de « polarités » font l'objet de deux variantes : dans le cas de l'extension on testera une extension d'une part du pôle central par débordement sur sa couronne, d'autre part uniquement sur les 5 autres pôles ; dans le cas de l'intensification on testera une intensification d'une part dans le pôle central, d'autre part sur les 5 autres pôles uniquement. Les configurations d'« éparpillement » font l'objet de deux variantes également dans le cas de l'intensification, d'une

part un éparpillement des constructions d'habitat collectif sur toutes les communes, d'autre part partout sauf dans le pôle central.

Tableau 16 : Adaptation des configurations spatio-fonctionnelles au carré métropolitain lyonnais

	Extension	Intensification
Polarités	Variante 1 : extension sur LV2 Variante 2 : extension sur les 5 pôles	Variante 1 : sur LV1 Variante 2 : sur les 5 pôles
Eparpillement	Partout sauf sur LV1	Variante 1 : partout Variante 2 : partout sauf sur LV1

Enfin, à titre d'illustration, la carte en annexe montre simultanément les deux « carrés » et leur intersection.

2.2.3 Le « carré Ouest Strasbourgeois »

Suivant la logique du « carré picard » et du carré « Ouest Lyonnais », il s'agit d'un territoire d'urbanisation dispersée, ne comprenant pas de ville de plus de 20.000 habitants, incluant aussi bien du rural (du hameau au bourg) que du périurbain (lotissements, zones d'activité, maisons récentes), avec un côté d'environ 30 km.

La zone choisie permet d'intégrer un grand nombre de communes périurbaines et rurales (plus de 70% de maisons individuelles), dont la plus grande atteint 12.000 habitants environ (Saverne). La majorité d'entre elles sont comprises dans l'aire urbaine de Strasbourg, à l'exception de Saverne qui, entourée de quelques communes, représente une aire urbaine indépendante. Elle est considérée comme « grand pôle » dans la classification de l'INSEE, ce qui traduit un fonctionnement propre (nombre d'emplois supérieur à 10 000).

Le périmètre du carré ainsi délimité a un côté d'une trentaine de kilomètres environ et comprend 108 communes (cf. liste des communes en annexe), pour une population totale de 124.308 habitants en 2013 (et 119.696 en 2007).

Les pôles définis sont :

- Saverne au Nord-Ouest : c'est une commune importante polarisante, représentant une aire urbaine indépendante des aires de Strasbourg et d'Haguenau.
- Molsheim & Mutzig au Sud : Seconde sous-préfecture avec Saverne, Molsheim et sa commune contigüe Mutzig représentent la plus grosse concentration de population (~16 000 habitants).
- Marlenheim & Wasselonne au centre : elles représentent une concentration importante au centre du périmètre sans pour autant d'infrastructures ferroviaires voire même routières.
- Hochfelden & Schwindratzheim au Nord-Est : ces deux communes se situent sur la ligne TER et l'autoroute depuis Strasbourg mais aussi à proximité d'Haguenau.

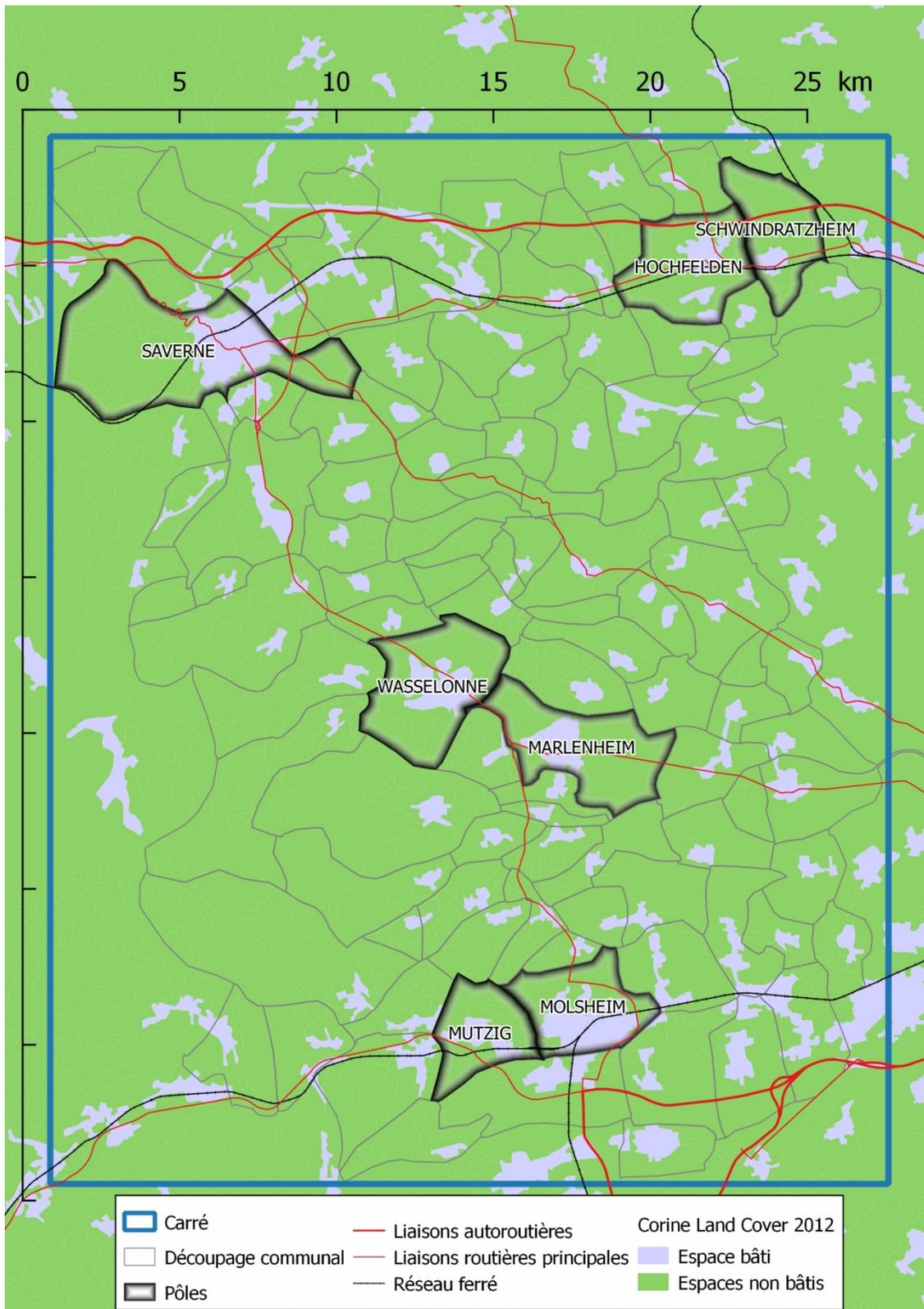


Figure 3 : Le carré Ouest Strasbourgeois et ses 4 pôles

2.2.4 *L'agglomération de Strasbourg*

a) Périmètre

Le territoire choisi pour la région attenante à Strasbourg fait l'objet d'une étude unique afin d'intégrer à la fois les préoccupations urbaines, périurbaines et rurales. La zone d'étude ne correspond pas à un territoire administratif isolé mais dépend de caractéristiques administratives, spatiales et démographiques choisies pour la présente recherche.

De ce fait, elle comprend les intercommunalités impliquées dans le SCOTERS (Figure 4), ainsi que des territoires connexes (par exemple Obernai ou Wasselonne) qui jouxtent directement le syndicat mixte regroupant les intercommunalités reliés au SCOTERS. La commune allemande de Kehl, ville miroir de Strasbourg a également été incluse dans le périmètre d'étude en raison de l'importance des échanges transfrontaliers.

Schéma de Cohérence Territoriale de la Région de Strasbourg Intercommunalités membres - 18 juin 2013

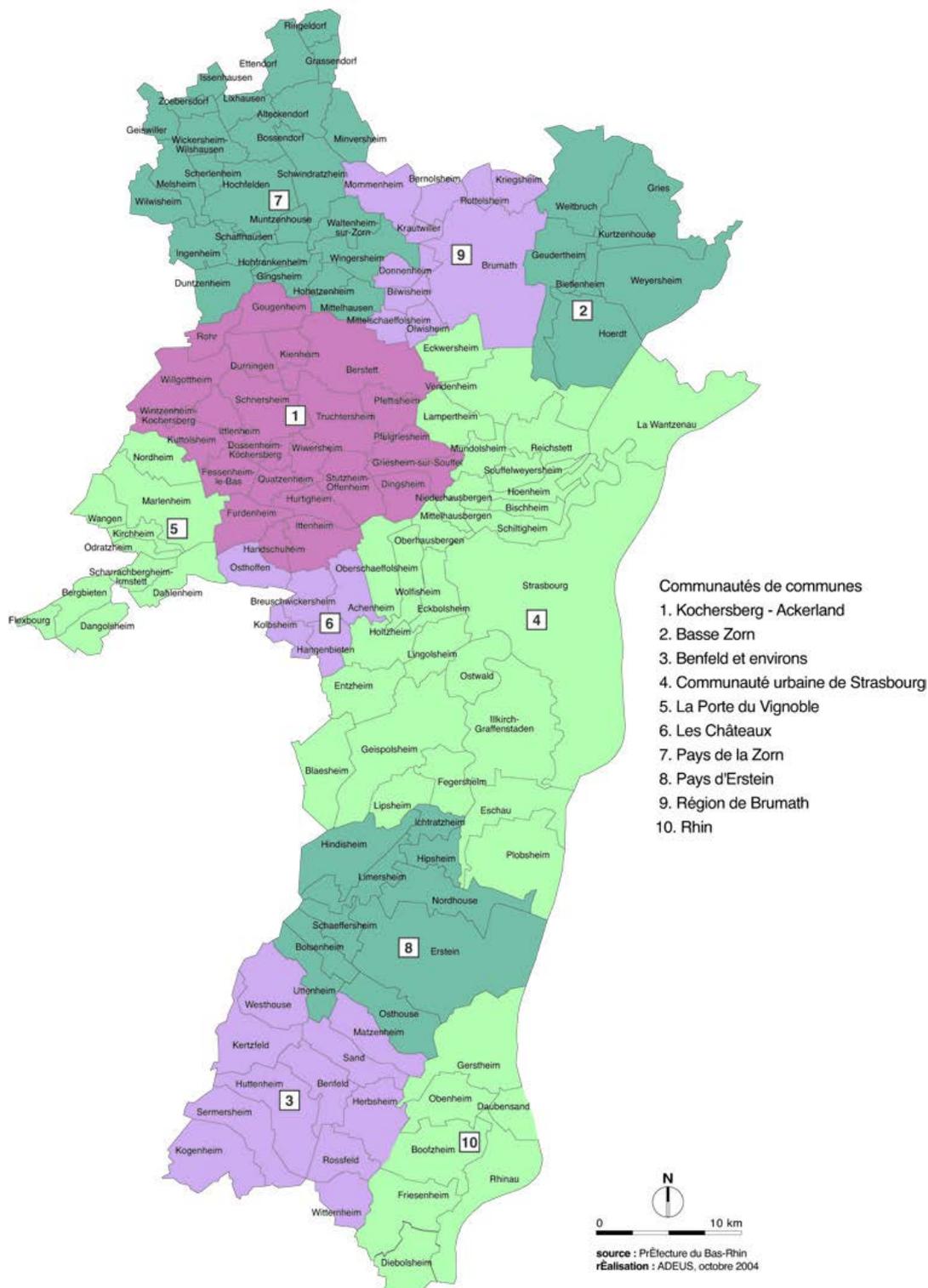


Figure 4 : Périmètre du SCOTERS (Source : SCOTERS.org, 2013)

Les délimitations et choix du nombre de zones ont été réalisés afin de correspondre aux besoins du modèle de simulation macroscopique MARS, celui-ci ne pouvant inclure un nombre trop élevé de zones. Par conséquent, un découpage « sur-mesure » a été réalisé : les communes hébergeant le plus de résidents, telle que Strasbourg sont donc scindées en plusieurs zones (par quartier) alors que les

communes plus faiblement peuplées sont regroupées par intercommunalité, telle que le Pays d’Erstein. Ainsi, le zonage retenu pour l’étude est présenté ci-après (Figure 5) :

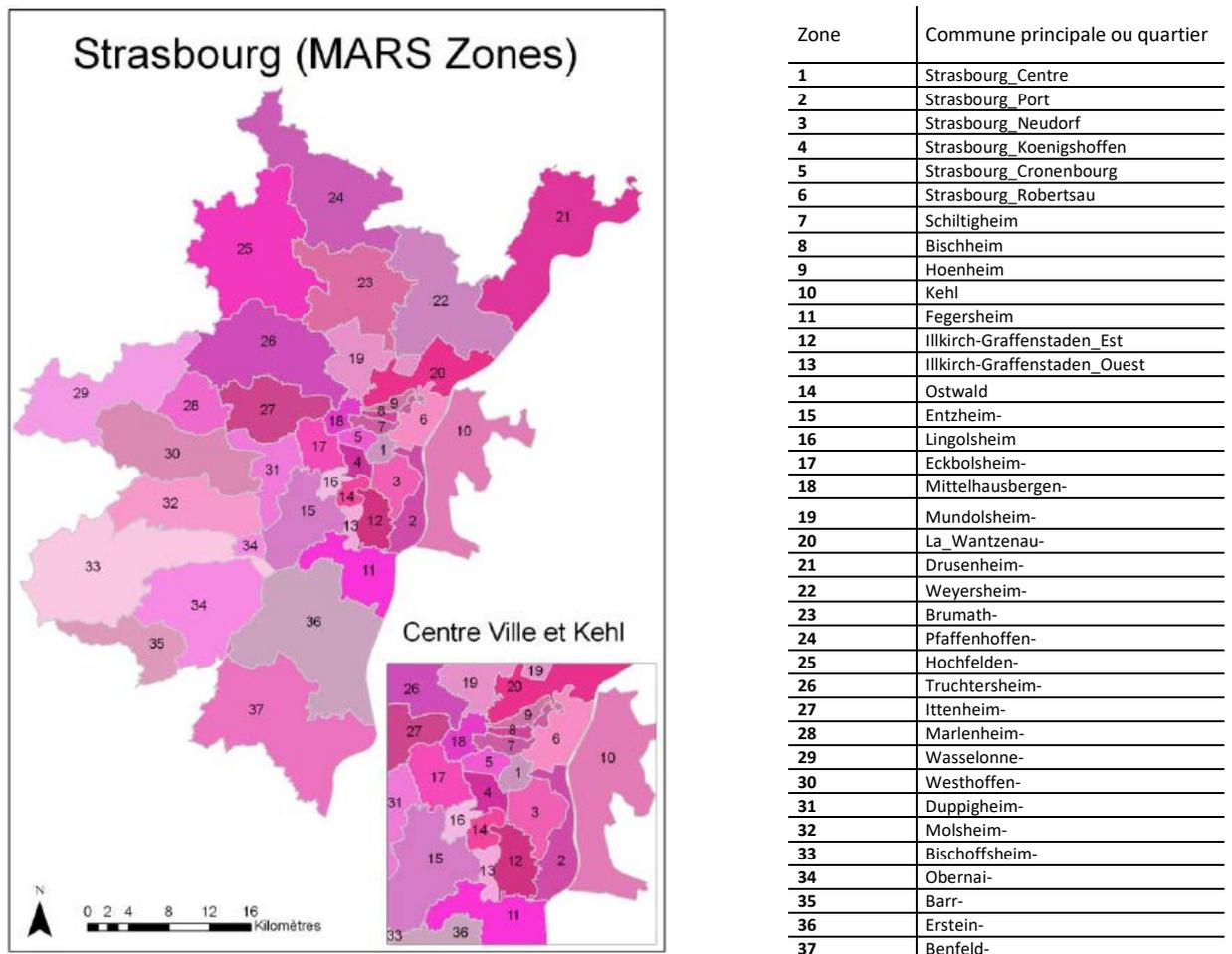


Figure 5 : Zonage du périmètre d'étude autour de la commune de Strasbourg (Source : EIFER, 2016)

b) Polarités

La zone d’étude présente une forte centralité par la commune de Strasbourg et sa banlieue proche. Cette agglomération concentre la majorité des habitants, emplois et logements et est donc le centre principal du périmètre.

Néanmoins, des polarités secondaires particulièrement notables, en dehors de la banlieue de Strasbourg (dépendante de sa ville-pôle), ont été définies sur le périmètre. Elles se distinguent en fonction :

- De leurs caractéristiques démographiques et administratives – chacune accueille environ 10.000 habitants et influence son intercommunalité propre – et
- De leur localisation – hors de la banlieue proche de Strasbourg, environ 20km de la polarité principale.

De plus, le choix des polarités secondaires s'est appuyé sur une analyse des documents de planification et d'urbanisme locaux. En effet, les centralités désignées à renforcer selon les documents du SCOTERS⁵ sont de 3 niveaux :

- Principaux pôles urbains intra-Eurométropole,
- Communes équipées de la région de Strasbourg hors-agglomération et
- Bourgs-centres : communes les mieux équipées de la région de Strasbourg, hors agglomération de Strasbourg et celles qui ont un statut de centralité au sein d'un bassin de vie local.

Par souci de lisibilité et afin d'exacerber les configurations, seules 3 communes ont été choisies en sus de la polarité naturelle qu'est la ville-pôle de Strasbourg, limitant ainsi le nombre de zones selon le modèle à prendre en considération dans les scénarios de polarités.

Les communes de Brumath, Obernai et Erstein, ainsi que les communes qui leur sont dépendantes, ont donc été considérées comme polarités secondaires dans le cadre de la démarche de scénarisation.

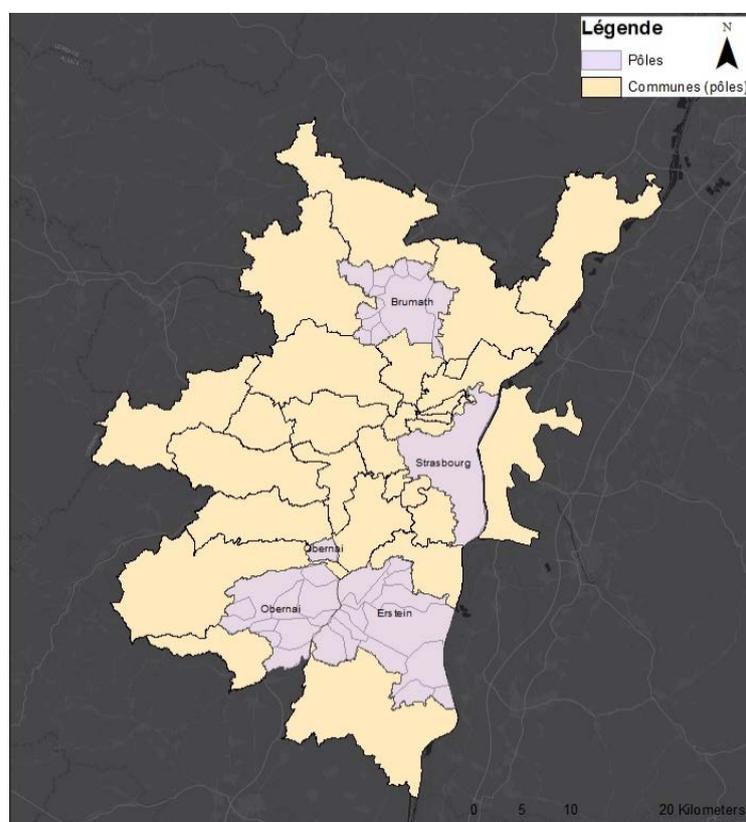


Figure 6 : Zones « polarités » pour les scénarios correspondants, territoire de Strasbourg

La Figure 6 présente l'ensemble du périmètre du cas d'étude de Strasbourg, avec une mise en évidence des pôles choisis dans le cadre de la scénarisation « polarités ». Les zones-pôles sont scindées selon les communes afin de souligner l'aspect agrégé du zonage, par intercommunalité. Par souci de lisibilité, les communes comprises dans les zones non désignées comme pôles ne sont pas représentées.

⁵ P183 du SCOTERS (document « Choix, incidences »), <http://scoters.org/index.php/scoters>

c) Evolutions

Dans ce paragraphe, les tableaux présentent des évolutions en effectifs ou en taux, pour les variables habitants, logements, activité et ménages. Ces projections serviront de calibrage pour l'outil MARS.

Tout d'abord, le Tableau 17 présente les effectifs d'évolution à 2042 qui ont été définis pour l'ensemble des communes étudiées grâce aux bases de données de l'INSEE (notamment projections démographiques Omphale⁶) et internes au projet. Ils sont valables pour les 4 scénarios proposés en section 2.

Tableau 17 : Evolutions en effectif, pour l'ensemble des scénarios (territoire de Strasbourg)

	2007	2042 ⁷	Evolution 2007-2042	Croissance 2007-2042
Logements*	342030	436.094	94.064	28%
Population	744.614	851.186	106.572	14%
Activité	366.866	391.446	24.580	7%
Ménages	315.468	411.690	96.222	31%

*Dont logements vacants⁸.

Afin de comprendre l'impact des configurations de l'axe vertical de scénarisation, les Tableau 18 et Tableau 19 mettent en lumière les évolutions proportionnelles qui adviendraient sur les territoires ouverts à la croissance.

Ainsi, pour le scénario d'éparpillement, toutes les communes se verraient attribuer une croissance au prorata de la situation initiale, les menant toutes à une évolution homogène. Par exemple, selon la même hypothèse, toutes les communes devraient connaître une augmentation de 27% du nombre de logements sur chacun de leur périmètre (Tableau 18).

Tableau 18 : Evolution pour les scénarios d'éparpillement, toutes communes (territoire de Strasbourg)

	Evolution totale 2007-2042
Logements	28%
Population	14%
Activité	7%
Ménages	31%

En revanche, dans le cas des scénarios de polarités, seules les 4 zones à renforcer seraient ouvertes à la croissance. L'évolution au prorata de la situation initiale serait donc bien plus importante que pour la configuration précédente, mais uniquement pour les polarités ; les autres communes se voyant affecter une évolution nulle. Par exemple, selon ces scénarios, la commune de Strasbourg voit sa population croître de 14% sur cette période tandis que celle de Lingolsheim reste constante (Tableau 19).

⁶ Horizon des projections OMPHALE utilisées pour l'exercice. <https://www.insee.fr/fr/information/1303412>

⁷ Les valeurs proposées sont obtenues grâce aux projections OMPHALE.

⁸ L'intégration de logements vacants est prise en compte grâce à un pourcentage, par zone. Contrairement à la méthode appliquée sur les carrés ouest-lyonnais et métropolitain-lyonnais, il n'y a donc pas égalité entre le nombre de ménages et le nombre de logements.

Tableau 19 : Evolution pour les scénarios de polarités, communes ciblées (territoire de Strasbourg)

	Evolution totale 2007-2042
Logements	57%
Population	32%
Activité	18%
Ménages	64%

2.2.5 L'agglomération de Mulhouse

a) Périmètre

Par rapport au périmètre d'étude de Strasbourg, le territoire étudié dans le Haut-Rhin ne se base pas exactement sur une délimitation administrative reconnue. En effet, la zone est plus restreinte que pour le territoire Bas-Rhinois et se concentre autour de Mulhouse. L'intégralité de l'agglomération, présentée en Figure 7, n'est pas intégrée car des communes ou intercommunalités ont été ajoutées ces dernières années, avant la définition du zonage adapté à la simulation via MARS. Le périmètre considéré lors du projet est donc réduit à (la majorité de) l'agglomération antérieure, en Figure 8.

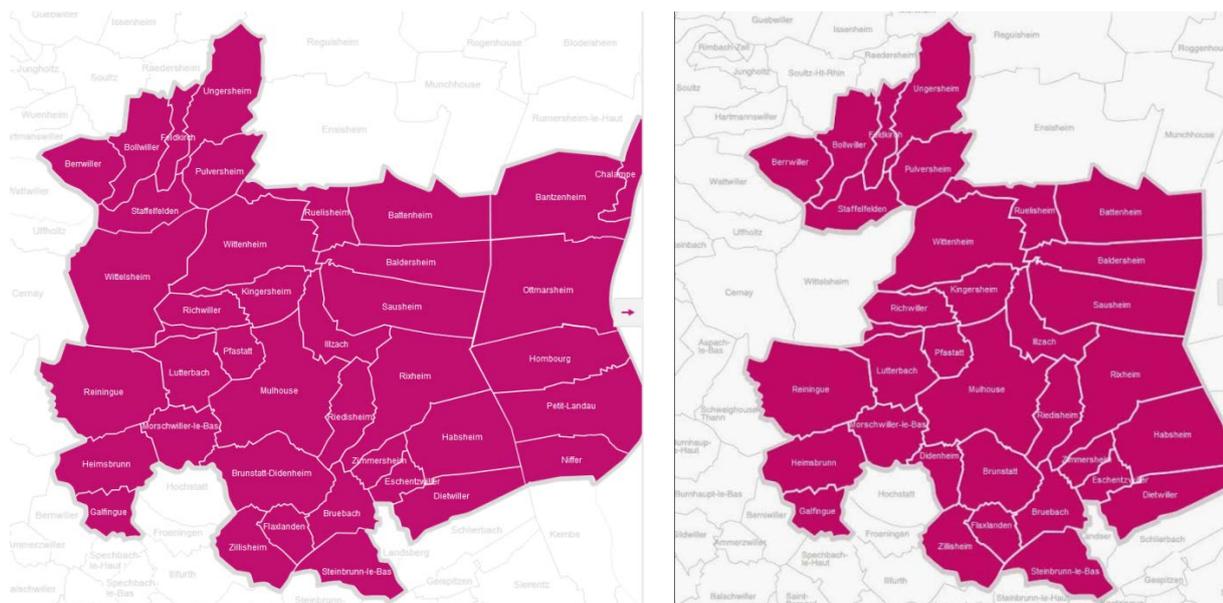


Figure 7 : Périmètres actuel (2017) et antérieur (2013) de l'agglomération de Mulhouse (mulhouse-alsace.fr)

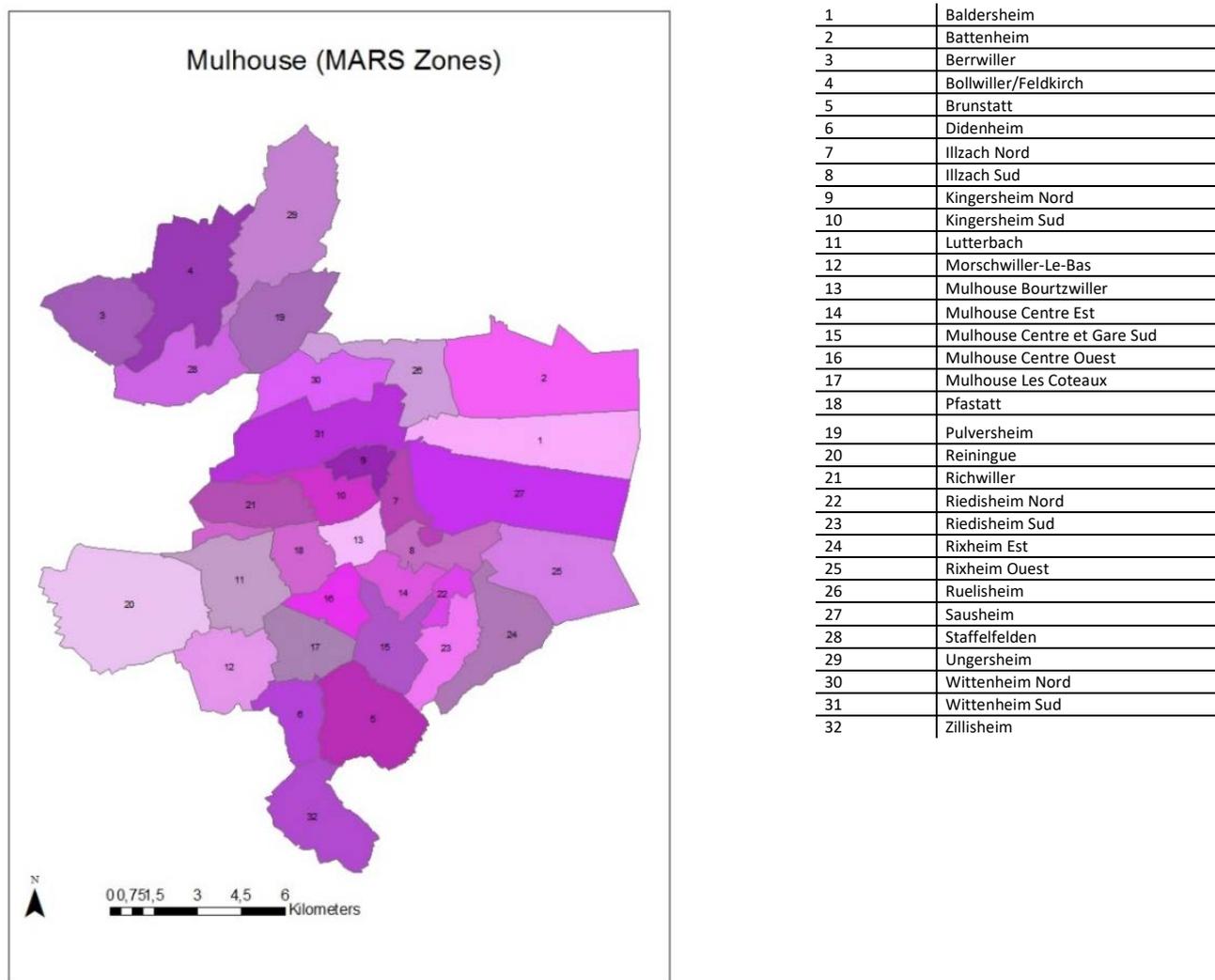


Figure 8 : Zonage du périmètre d'étude autour de la commune de Mulhouse

b) Polarités

De même que pour le cas d'étude de Strasbourg, une forte polarisation est observée autour de Mulhouse, menant à un déséquilibre urbain/périurbain.

Il a donc été décidé de ne pas considérer la banlieue du pôle comme potentiellement à renforcer, afin d'exacerber les comportements dans les simulations. Ainsi, l'intégralité des « centres urbains à renforcer » définis dans le DOG du SCOT de l'agglomération de Mulhouse⁹ n'a pas été considérée car trop de zones auraient été des polarités, n'apportant donc pas une distinction majeure avec les configurations d'étalement.

En sus du pôle majeur du périmètre de travail représenté par la commune de Mulhouse, trois communes (hors banlieue) ont pu être mises en avant selon leurs caractéristiques spatiale – répartition différenciée, accessibilité en transport en commun en environ 1h de Mulhouse (bout de ligne¹⁰) – et démographique – environ 2.000 habitants. Les communes retenues en tant que polarités secondaires sont donc Ungersheim, Ruelisheim et Zillisheim.

⁹ P6 du DOG, <http://www.mulhouse-alsace.fr/fr/schema-de-coherence-territoriale-scot>

¹⁰ <http://www.solea.info/mediadb/abribus2016.gif>

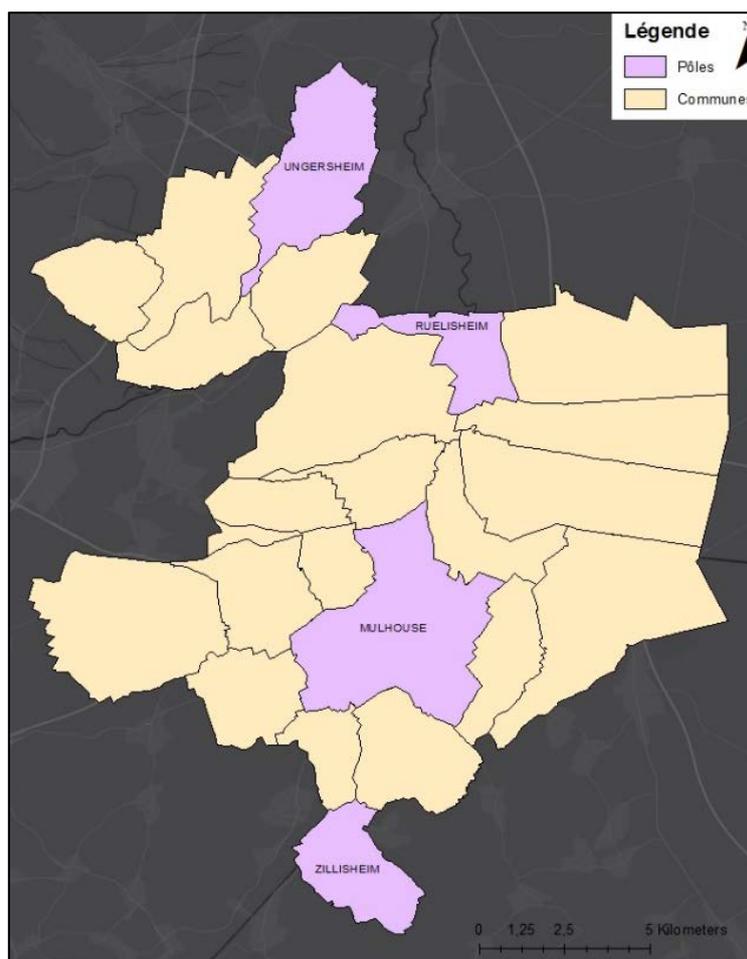


Figure 9 : Zones « polarités » pour les scénarios correspondants, territoire de Mulhouse

c) Evolutions

Dans ce paragraphe, les tableaux présentent des évolutions en effectifs ou en taux, pour les variables habitants, logements, activité et ménages. Ces projections serviront de calibrage pour l'outil MARS.

Les effectifs globaux communs à tous les scénarios, situation initiale et projections à 2042 via des bases de données INSEE (dont Omphale) et outils internes, sont répertoriés dans le Tableau 20. La méthode employée est la même que celle utilisée pour le cas d'étude de Strasbourg.

Tableau 20 : Evolutions en effectif, pour l'ensemble des scénarios (territoire de Mulhouse)

	2007	2042 ¹¹	Evolution 2007-2042	Croissance 2007-2042
Logements*	110.718	133.033	22.315	20%
Population	237.657	252.234	14.577	6%
Activité	108.547	104.860	-3.687	-3%
Ménages	100.496	122.632	22.136	22%

*Dont logements vacants.

Dans les Tableau 21 et Tableau 22, sont indiqués les taux d'évolutions, d'une part pour l'ensemble des communes du périmètre pour les scénarios d'éparpillement et, d'autre part, pour les communes

¹¹ Les valeurs proposées sont obtenues grâce aux projections OMPHALE.

choisies comme « polarités » des scénarios correspondants (en notant que les communes non-ouvertes à la croissance pour les scénarios polarités ont des taux d'évolution nuls).

Tableau 21 : Evolution pour les scénarios d'éparpillement, toutes communes (territoire de Mulhouse)

	Evolution totale 2007-2042
Logements	20%
Population	6%
Activité	-3%
Ménages	22%

Ainsi, avec l'application d'un scénario d'éparpillement, une croissance de 22% des ménages sera constatée sur l'ensemble des communes (Tableau 21). En revanche, selon les scénarios de polarités, la commune de Zillisheim présentera une croissance de population d'environ 12%, tandis que la population d'Illzach, par exemple, stagnera (Tableau 22).

Tableau 22 : Evolution pour les scénarios de polarités, communes ciblées (territoire de Mulhouse)

	Evolution totale 2007-2042
Logements	39%
Population	12%
Activité	-7%
Ménages	44%

2.3 Les leviers de l'urbanisation, de la technologie et des comportements

Les configurations spatio-fonctionnelles sont évaluées sur les différents territoires d'étude selon des scénarios d'urbanisation et technologiques extrêmes et selon des leviers comportementaux. L'important est ici de comparer différentes configurations spatiales à scénarios technologiques et comportementaux donnés.

2.3.1 Le levier propre de l'urbanisation

Par ce levier, nous entendons essentiellement la localisation résidentielle des ménages.

Une première question se pose, relative à la « durabilité » des formes spatiales par elles-mêmes du point de vue des mobilités, indépendamment de toute variation des technologies de transport, des conditions de déplacement ou des comportements individuels.

Nous considérons tout d'abord un scénario totalement fictif, celui d'un espace vierge dans lequel la population actuelle et la population nouvelle à l'horizon 2050 seraient (re)localisées dans les pôles que nous avons définis. Cette population adopte les comportements de mobilité actuels des habitants de ces pôles (notamment les distances parcourues – moindres en moyenne, la part plus importante de la marche à pied dans ces pôles, etc.). Ce scénario de relocalisation est bien sûr irréalisable (du moins dans le monde que nous envisageons) mais il a l'intérêt de donner un repère quant au caractère éventuellement souhaitable de telles formes de localisation.

Ces scénarios de localisation extrêmes peuvent être testés avec notre outil de simulation sur les trois « carrés » (périurbains ouest lyonnais et strasbourgeois, métropolitain lyonnais) mais pas avec le modèle MARS, modèle d'interaction transport-usages du sol calibré sur les configurations spatiales actuelles de Strasbourg et Mulhouse (cf. infra les outils).

Nous testons ensuite des scénarios, moins irréalistes, dans lesquels l'action sur les localisations ne joue plus que sur les populations nouvelles. Là encore l'outil de simulation peut être utilisé dans le cas des trois carrés, mais aussi le modèle MARS dans le cas des agglomérations de Strasbourg et Mulhouse.

2.3.2 *Le cas du logement*

Il est possible de simuler l'évolution du parc de logements en réponse à la demande de la population nouvelle. Cette simulation s'appuie sur les projections Omphale du nombre de ménages, la connaissance du stock actuel de logements, un facteur d'érosion dans le temps, avec un taux de sortie du parc de 0,5% par an (hypothèse haute signifiant une activité élevée de destruction et de reconversion des logements, le taux observé étant de 0,35%). On en déduit donc le besoin de logements neufs (résidences principales) pour loger les nouveaux ménages.

Concernant la consommation d'énergie, la suite de la démarche consisterait à appliquer la réglementation thermique aux logements neufs : RT 2012 actuellement et RT 2020 à partir de 2020 avec un bilan passif (couverture des besoins d'énergie les énergies renouvelables) voire des bâtiments à énergie positive (BEPOS). A cela s'ajouteraient des scénarios de rénovation du parc existant qui, on le sait, représente l'essentiel de la consommation étant donné le temps long du renouvellement du parc.

Cependant, ces scénarios ressortant de politiques nationales ne dépendent pas a priori de la localisation des bâtiments, ni même du type de logement (appartement en collectif versus maison individuelle), puisque la réglementation, exprimée notamment en limite de consommation par m², s'applique indifféremment quelque soit le type de logement. Ces scénarios énergétiques pour le logement ne seraient donc aucunement discriminants du point de vue des configurations spatio-fonctionnelles que nous étudions. Le même constat s'applique aux indicateurs de pollution des systèmes de chauffage, dépendant du type de combustible utilisé.

C'est pourquoi l'analyse environnementale du parc de logements apparaît comme non pertinente du point de vue de notre problématique des effets de localisations variées des populations.

2.3.3 *Leviers technologiques, facteurs d'émission des véhicules*

2.3.3.1 Pour la voiture particulière :

HBEFA (Handbook Emission Factors) fournit les facteurs d'émission au véhicule-km projetés jusqu'à 2030 pour différents pays, pour différentes catégories de véhicules (voiture particulière ou voiture de tourisme, véhicules utilitaires légers ou lourds, bus urbains, cars, etc.), par type de carburant (essence, gazole), dans différentes conditions de circulation, pour différentes catégories de polluants dont le CO₂ (à noter qu'il s'agit uniquement des émissions « du réservoir à la roue » ; l'intégration de l'amont, soit « du puits au réservoir », est prévue dans une version future).

Nous utilisons la version agrégée, disponible en ligne par pays (donc pour la France, <http://www.hbefa.net/e/index.html>, consulté le 26/01/18, version 3.3 d'avril 2017). Ce niveau est suffisant pour nos besoins de valeurs agrégées au niveau du parc automobile (cf. Annexe 1, extraction pour les voitures particulières et les bus urbains). La valeur retenue pour 2015 pour la

voiture particulière est de 147 g/vkm. Néanmoins ces données donnent les émissions par véhicule et non par passager. Elles doivent être complétées par d'autres sources.

Projections à 2030 et 2050 :

HBEFA : 108 g/vkm en 2030 (ne va pas au-delà).

ADEME :

Nous empruntons aux exercices de prospective de l'ADEME (2012).

- Vision ADEME 2030 de prospective « tendanciel volontariste » : parc automobile roulant voiture en moyenne à 100g CO₂ / km.
- Vision ADEME 2050 de prospective « normative » (avec objectif du Facteur 4) : parc automobile roulant voiture en moyenne à 49 g CO₂ / km.

Compte tenu des (légères) différences entre HBEFA et ADEME en 2030, nous retenons un chiffre rond de 100 g CO₂/v-km en 2030. Pour 2050 l'incertitude est plus grande : la « vision » ADEME est normative car elle correspond à l'objectif Facteur 4. Néanmoins nous pouvons conserver l'ordre de grandeur de 50 g CO₂/v-km en 2050. La sensibilité des simulations en 2050 à des variations de ce facteur sera évaluée.

Quelle valeur d'émission par passager-km en 2015 pour la voiture particulière ?

Selon CGDD (2014) le taux d'occupation moyen pour les déplacements domicile-travail varie de 1,04 personne par véhicule pour le pôle urbain de Paris (source ENTD 2008) à 1,06 pour les unités urbaines hors Paris, et 1,08 pour les liaisons des communes rurales. Une autre exploitation de l'ENTD 2008 (SETRA, 2011), plus fine, montre que ce taux d'occupation monte à des valeurs d'environ 2 ou 3 pour les autres motifs (loisirs, achats) ou pour les longues distances. Tous motifs et toutes distances confondues ce taux s'établit à 1,47 (par véhicule, non pondéré par la distance) en 2008, et il est en baisse par rapport à 1994 (1,56). Il s'établit à 1,94 pour les déplacements liés à des accompagnements (y compris aller chercher une personne).

Pour les mobilités du quotidien qui nous intéressent ici, et dans le contexte géographique lyonnais, nous retenons une valeur de 1,08 pour le domicile-travail, 2 pour les déplacements liés à l'école (voiture en tant que passager pour les scolaires) et 1,5 pour les autres motifs.

Cependant, la question se pose de savoir quelles quantités d'émissions de CO₂ comptabiliser quand on passe d'un mode de transport à l'autre (par exemple quand on quitte la voiture-passager).

Pour les scolaires accompagnés en voiture, comme le taux de remplissage est proche de 2, on peut faire l'hypothèse que le déplacement en question est effectué exclusivement pour l'accompagnement de ce scolaire et que son transfert sur un autre mode implique l'abandon du déplacement du véhicule. Donc l'émission économisée représente la totalité de l'émission du véhicule.

Pour un actif se rendant au travail en tant que conducteur ou passager (taux de remplissage moyen de 1,08), le transfert vers un autre mode n'implique pas forcément l'abandon du déplacement du véhicule si celui-ci est conduit par un autre actif pour se rendre au travail. Donc l'émission économisée représente l'émission du véhicule pondérée par le taux de remplissage moyen.

Pour les motifs autres que travail et études (taux de remplissage moyen de 1,5), le transfert vers un autre mode n'implique pas forcément l'abandon du déplacement du véhicule si celui-ci est conduit

par une autre personne pour se rendre à l'activité en question (exemple, achats). Donc l'émission économisée représente l'émission du véhicule pondérée par le taux de remplissage moyen.

Ces différentes valeurs de taux d'occupation seront évidemment modifiées dans les scénarios de covoiturage (cf. infra).

2.3.3.2 Pour les transports collectifs

Nous avons besoin d'une information moyenne tenant compte des caractéristiques des véhicules et du remplissage moyen de ceux-ci. Nous nous appuyons sur l'obligation réglementaire d'information sur la quantité de dioxyde de carbone émise à l'occasion d'une prestation de transport.

TCL (opérateur du réseau urbain lyonnais) :

Cette information est consultable sur le site de TCL¹² : 37,6 grammes de CO₂ par passager-km (méthode spécifique, calcul de niveau 2 selon le décret 2011-1336). Ce réseau contient une part importante de déplacements en modes de traction électrique (métro et tramway). Cette valeur d'émission pour les TC est retenue pour le « carré métropolitain lyonnais ».

Réseau de cars en ville moyenne : exemple du réseau Libellule¹³ à Villefranche sur Saône : 171 grammes de CO₂ par passager-km (méthode spécifique, calcul de niveau 2 selon le décret 2011-1336).

Le département du Rhône est irrigué par les cars (Cars du Rhône) et desservi par des lignes ferroviaires assurant un service de TER. Il n'existe pas d'information globale sur le département à notre connaissance. En effet, l'obligation réglementaire s'adresse aux prestataires de transport (dans ce cas les compagnies de car et la SNCF).

SNCF TER :

Pour un parcours en train TER¹⁴ ce chiffre est de 30 gCO₂ par passager-km. Pour les autocars TER, selon le site « Les émissions d'un voyageur parcourant 1 km sont affichées dans les véhicules. Elles sont calculées par la société d'autocar sur la base des consommations et fréquentations réelles. ». En l'absence de données réelles le site préconise de retenir le chiffre de 171 gCO₂ par passager-km.

Nous ne connaissons pas la répartition des passagers-km sur ces deux modes. On peut néanmoins se fonder sur la répartition de l'offre (en véhicules-km). En région Rhône-Alpes en 2014 l'offre ferroviaire s'établit à 26 millions de trains-km, l'offre routière à 10 millions de cars-km¹⁵. En supposant que la répartition des passagers-km suit les mêmes parts, 72% des passagers-km se feraient en train, 28% en car. Ce qui nous donne une estimation arrondie à 69 gCO₂ par passager-km. Cette valeur d'émission pour les TC est retenue pour le « carré ouest lyonnais ».

En région Alsace en 2014 l'offre ferroviaire s'établit à 10 millions de trains-km, l'offre routière à 1,7 millions de cars-km. En supposant que la répartition des passagers-km suit les mêmes parts, 85% des passagers-km se feraient en train, 15% en car. Ce qui nous donne une estimation arrondie à 51 gCO₂ par passager-km. Cette valeur d'émission pour les TC est retenue pour le « carré ouest strasbourgeois ».

¹² <http://www.tcl.fr/Pages-annexes/TCL-et-l-environnement> (consulté le 26/01/18)

¹³ <http://buslibellule.com/Informations/Developpement-Durable> (consulté le 26/01/18)

¹⁴ <https://www.ter.sncf.com/auvergne-rhone-alpes/mentions-legales> (consulté le 26/01/18)

¹⁵ Enquête annuelle sur les transports collectifs régionaux - DGITM, CGDD, Cerema – Régions de France - GART – UTP - FNTV, année 2014

Projections à 2030 et 2050 :

Selon HBEFA le taux d'émission de CO₂ des cars comme des bus urbains augmente légèrement entre 2015 et 2030. Nous maintenons donc constante la valeur d'émission du mode routier pour les deux horizons 2030 et 2050. Nous maintenons également constant le facteur d'émission du mode ferroviaire (électrique).

2.3.3.3 Parc de véhicules

Pour les agglomérations de Mulhouse et de Strasbourg, le parc de véhicules est intégré aux simulations par le modèle MARS, au moment du calibrage de ce dernier. La structure du parc roulant, par technologie (diesel, essence, hybrides, électrique) est reprise des données du modèle de parc du CGDD (cf. CGDD, 2016). Les mêmes données seront reprises pour l'agglomération lyonnaise.

2.3.3.4 Scénarios « bas » et « haut »

Le parc de véhicules sont également sujets à la scénarisation, avec la simulation de deux scénarios extrêmes, nommés « scénario bas » et « scénario haut ».

Partant de l'hypothèse que des évolutions sur le long terme favoriseraient des changements plus importants et plus vertueux, le scénario « bas » correspond à un scénario à moyen terme (par exemple, à 2030) et le scénario haut à un scénario à long terme (par exemple, à 2050).

On comparera donc les configurations spatio-fonctionnelles selon deux scénarios technologiques extrêmes : scénario « bas » avec projection à 2030 du parc de véhicules ; scénario « haut » avec projection à 2050 du parc de véhicules.

2.3.4 Leviers comportementaux

Des leviers comportementaux peuvent être identifiés et testés du point de vue de la mobilité à origines-destinations fixées. Il s'agit des potentialités de report modal, vers les transports collectifs ou vers des modes alternatifs comme le vélo voire le vélo à assistance électrique en fonction des distances parcourues. A cela s'ajoute le covoiturage qui, en jouant sur le taux de remplissage des véhicules est l'équivalent de la réduction des émissions par véhicule-kilomètre du point de vue des scénarios technologiques.

D'autres leviers sont également testés avec le modèle MARS, à savoir les conséquences d'incitations locales, réglementaires, fiscales ou tarifaires sur les comportements de mobilité.

2.4 Les outils : modélisation MARS et analyse du potentiel de changement

2.4.1 Le modèle MARS

Le modèle MARS¹⁶, utilisé par EIFER pour des travaux sur l'évaluation de l'impact énergétique du véhicule électrique sur les villes de Strasbourg et Mulhouse, a également été utilisé dans le cadre de PERITHEL.

MARS est un modèle stratégique intégré simulant dynamiquement l'utilisation du sol et le transport. A partir du modèle déjà calibré sur ces deux villes, la simulation de scénarios de formes urbaines contrastées apporte des éléments de réponse sur l'impact énergétique de l'étalement

¹⁶ Développé par la Technische Universität Wien (TUW).

urbain. Ce LUTI (Land Use and Transport Interaction) permet de modéliser les interactions existant entre l'occupation des sols (fonctionnalités) et le transport. Pour plus de détails, se référer à *Land Use model : First steps and prototype* HN-45/17/001.

2.4.2 L'analyse du potentiel de changement pour les trois « carrés »

La démarche générale consiste à s'appuyer sur les comportements de mobilité observés, en projetant ceux-ci à l'aide des projections démographiques de l'INSEE, sous l'influence de scénarios technologiques et d'évolution des comportements de mobilité.

2.4.2.1 Méthode de projection des mobilités

L'analyse des comportements de mobilité est fondée sur les sources de données que sont les enquêtes ménages-déplacements (EMDs Lyon 2015 et Strasbourg 2009, qui touchent les résidents de 5 ans et plus) et les données issues du recensement de l'INSEE (fichier MOBPRO 2013 recensant exhaustivement les navettes domicile-travail). Les données MOBPRO viennent en complément des EMDs car ces dernières ont un taux de sondage insuffisant dès que l'on souhaite faire des analyses spatiales plus fines. Par contre les données MOBPRO recensent des lieux déclarés de travail (et un mode principal de transport utilisé) mais non les comportements de mobilité quotidienne comme dans les EMDs. Nous prenons comme point de départ des simulations l'année 2015.

Les projections de comportements de mobilité consistent pour l'essentiel à estimer des parts de déplacements et de kilomètres parcourus par mode de transport, afin d'en déduire les différents indicateurs environnementaux et socioéconomiques. Ces projections de mobilité sont le produit de coefficients de génération (nombre de sorties du domicile), de parts modales (répartition de ces boucles selon les modes de déplacements) et de distances moyennes parcourues par sortie.

Pour projeter ces comportements de mobilité dans le futur, il est nécessaire de faire certaines hypothèses sur la constance – ou l'évolution tendancielle – des paramètres de ces comportements. En effet, dans les travaux de simulation présentés ici nous présumons une *mobilité maintenue*, dans ses aspects de nombre de sorties réalisées, de destinations et donc de distances parcourues. Notamment nous supposons que les lieux d'emplois et d'études sont donnés. Seuls changent les modes de déplacement. La question de l'évolution des distances, par exemple sous l'influence des coûts de la mobilité, est reportée à d'autres travaux, si tant est que cela soit pertinent pour notre problématique.

Ces comportements de mobilité sont déterminés d'une part par la situation sociodémographique de l'individu qui se déplace, d'autre part par le contexte spatial de ses déplacements (par exemple zone urbaine dense vs zone non dense).

Au titre de la situation sociodémographique de l'individu nous distinguons :

- Les « actifs occupés », c'est-à-dire ceux qui déclarent occuper un emploi : leur mobilité au quotidien est contrainte par la nécessité de se rendre à un lieu d'emploi, en général sans possibilité de choix de ce lieu à court terme, ce qui implique une certaine distance à parcourir, notamment dans le périurbain ; de plus, ces actifs adultes ont la possibilité légale de conduire une voiture et une certaine autonomie financière.
- Les populations d'âge scolaire (de l'école primaire au lycée) : dans cette catégorie nous distinguons :
 - o Les « primaires » (repérés par leur âge 5-10 ans), qui n'utilisent pratiquement pas les transports collectifs et sont le plus souvent accompagnés en marche à pied ou en voiture particulière, dans une mobilité de proximité pour aller à l'école.

- Les « collégiens » (11-14 ans) qui utilisent en outre les transports collectifs, mais dont la mobilité pour aller au collège s'effectue à plus grande distance compte tenu de la structure spatiale de l'offre d'établissements.
- Les « lycéens » (15-17 ans), dans une situation similaire, mais avec une mobilité pour aller au lycée à plus grande distance que pour les collégiens.
- Le reste de la population : les activités de ces personnes sont moins obligées dans leurs horaires ou durées ainsi que leurs lieux de réalisation, cela dit elles peuvent être régies par certaines obligations, celles d'assurer l'approvisionnement du foyer (achats) ou d'autres liées à la santé ou encore les formalités administratives ; toutefois leur caractère plus irrégulier dans le temps et dans l'espace les rend moins prévisibles.

La validité de ces catégorisations est confirmée a posteriori par l'analyse des mobilités sur nos trois carrés (cf. infra).

Concernant le contexte spatial des déplacements, il s'agit des configurations spatio-fonctionnelles, spécifiées du point de vue de la mobilité à travers l'opposition entre « éparpillement » et « polarités ». Nous verrons à travers l'analyse des mobilités (cf. infra) comment le fait de résider dans un pôle ou non induit des différences de comportements, notamment en termes de partage modal et de distances parcourues.

Par ailleurs, l'analyse des mobilités (et non des individus eux-mêmes) implique de définir l'unité statistique d'analyse. Il s'agit non pas des déplacements mais des « boucles » (suite de déplacements effectués depuis le départ du domicile jusqu'au retour au domicile) : il s'agit d'éviter la variabilité du nombre de déplacements liée aux arrêts intermédiaires, et plus généralement à l'organisation des déplacements, pour s'appuyer sur les points d'ancrage que sont les motifs ou les lieux plus ou moins obligés comme le travail, le lieu d'études, la nécessité de sortir pour les achats, etc. (cf. en Annexe 3 les catégories principales de motifs de déplacement). A chaque boucle est affecté un motif principal, selon la hiérarchie suivante dans le cas où plusieurs motifs sont présents dans la même boucle :

Travail > Ecole > Accompagnement > Service > Achats > Loisirs.

A ce motif principal est associé une destination principale de la boucle (hormis le retour au domicile bien sûr), lieu de réalisation du motif principal (exemple, le premier lieu de travail dans la boucle pour le motif principal travail).

De même, plusieurs modes de déplacement peuvent être utilisés au sein d'une même boucle (cf. en Annexe 2 les catégories principales de modes de déplacement). Les modes de transports au sein d'une même boucle sont hiérarchisés avec un niveau d'importance accordé aux motorisés, afin d'attribuer un mode principal à la boucle :

VPP-TC > VPC-TC > VPP > VPC > TC > 2RM > VELO > AUTRE > MAP.

Ensuite les combinaisons (VPP et TC) et (VPC et TC) au sein d'un même déplacement sont assimilées à TC, cela afin de focaliser les questions de prospective sur l'offre TC.

De cette analyse nous déduisons donc, pour chacune des cinq catégories ci-dessus :

- Le nombre moyen de boucles par individu de la catégorie k depuis la zone de résidence i (i prenant deux valeurs : pôle / hors pôle) soit $cboucle_{ik}$

- La part relative des boucles émises depuis i vers la zone j (j prenant trois valeurs : pôle / hors pôle / hors carré) soit $pboucle_{ijk}$ avec $\sum_j pboucle_{ijk} = 1$
- La distance moyenne parcourue dans les boucles (depuis le départ jusqu'au retour au domicile) pour chaque mode m depuis i vers la zone j pour la catégorie k soit $dboucle_{ijkm}$

Nous avons obtenu de l'INSEE avec le nouveau modèle Omphale (2017) les projections de population (par âge), ménages et actifs depuis 2013 jusqu'en 2050, pour les trois territoires d'étude, à savoir les carré ouest et métropolitain lyonnais et le carré ouest strasbourgeois. Nous adaptons ensuite ces projections à nos configurations spatio-fonctionnelles. En effet, les projections Omphale nécessitent un territoire d'au moins 50.000 habitants, ce qui fait qu'il n'est pas possible d'avoir des projections plus détaillées à l'intérieur des deux carrés périurbains. Ces projections incluent non seulement l'augmentation de population (résultant des soldes démographiques et migratoires, avec le « scénario central ») mais aussi la dérive liée à l'âge à l'horizon de projection.

Les scénarios technologiques (facteurs d'émissions des véhicules) sont présentés plus haut.

Comme nous disposons de projections prospectives à 2030 et 2050, à la fois pour la population et pour les scénarios technologiques, nos simulations seront effectuées à ces deux horizons, avec l'année 2015 comme point de départ des simulations.

Enfin, les scénarios de partage modal (cf. infra) incluent le covoiturage, les transports collectifs et le vélo. Le principe est à chaque fois de calculer un potentiel maximal de transfert modal (ce qui est possible techniquement ou physiquement), puis un scénario « volontariste haut » (objectif le plus haut envisageable) et un scénario « volontariste bas » (objectif raisonnablement envisageable). Le caractère « envisageable » ou « raisonnable » des objectifs de transfert modal relève évidemment de considérations subjectives (ou « à dire d'expert »), tenant compte des conditions économiques, psychologiques et sociales qui président aux choix individuels de comportements. L'inertie attachée aux changements de comportements et les délais de mise en œuvre de politiques publiques volontaristes pour accompagner ces changements fait que le scénario volontariste bas correspondrait plutôt à l'horizon 2030 et le volontariste haut à l'horizon 2050.

La projection consiste, pour chacune des cinq catégories à :

- Calculer le nombre de boucles émises par la zone i en appliquant le nombre moyen de boucles par individu $cboucle_{ik}$ à l'effectif projeté de catégorie socio-démographique k dans la zone soit $nboucle_{ik} = cboucle_{ik} \cdot P_{ik}$
- Calculer le nombre de boucles émises depuis i vers la zone j soit $nboucle_{ijk} = pboucle_{ijk} \cdot nboucle_{ik}$
- Appliquer un scénario de partage modal sur les boucles par origine-destination ij
- Calculer la distance parcourue par mode soit $D_{km} = \sum_{ij} dboucle_{ijkm}$
- Appliquer un scénario d'émission

Pour le cas particulier du carré métropolitain lyonnais (CM) la distinction se fait selon non pas entre pôles et hors pôle mais selon quatre zones de résidence (LV1, LV2, 5 pôles, reste Z3) et une cinquième zone possible en destination (hors carré).

2.4.2.2 Scénarios de covoiturage

Comment calculer le potentiel du covoiturage à partir des données des navettes domicile-travail ?

a) Données

Détails des navettes domicile-travail (entre lieu de résidence et lieu de travail déclarés dans le RGP, par extension de langage « navette ») :

Source : MobPro 2013 (fichier détail à l'individu + coef redressement)

Les fichiers de flux agrégés de commune à commune (MOBPRO flux) sont d'office redressés. La dernière version disponible de MOBPRO (en mai 2017) est MOBPRO 2013, mise en ligne le 30/06/16.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2022109>

Mais ils ne comprennent pas les informations sur le mode de transport principal. Il faut pour cela revenir au « fichier détail : Mobilités professionnelles ».

On ne s'intéresse qu'aux navetteurs dont l'origine est dans le périmètre – les résidents du carré. La limite de distance (à vol d'oiseau) est fixée, par convention, à 80 km. Le mode de transport retenu est exclusivement la voiture : dans la réponse à la question « Mode de transport principal le plus souvent utilisé pour aller travailler », nous ne gardons que « 4 : Voiture, camion, fourgonnette », parmi « 1 : Pas de transport », « 2 : Marche à pied », « 3 : Deux roues » et « 5 : Transports en commun ».

Enfin, ne sont pris en compte que les déplacements extra-communaux (i.e. uniquement les actifs qui changent de commune pour aller travailler).

La question se pose d'utiliser des données brutes ou des données redressées. En effet la méthode du recensement passe par un étalement de la collecte des données sur une période de cinq ans (cf. INSEE 2012 fiche pondération¹⁷). Cependant cette pondération (poids du logement dans la base de tirage) est représentative du point de vue du domicile, et non du point de vue de la destination de la navette. Dans l'idéal il faudrait pouvoir disposer d'un poids représentatif du couple origine-destination. L'INSEE conseille d'ailleurs de considérer les flux redressés inférieurs à 200 comme des ordres de grandeur (cf. cf. INSEE 2010 fiche déplacements domicile-travail¹⁸). C'est pourquoi nous choisissons de travailler sur les données brutes. On peut alors s'interroger sur l'éventuel biais statistique qui découlerait de ce choix. Selon les trois carrés étudiés le diagnostic diffère.

b) Méthode d'estimation du covoiturage effectif

En l'absence de connaissances plus précises, deux hypothèses seront nécessaires : l'une sur le pourcentage de personnes potentiellement concernées qui passent effectivement au covoiturage (%changeant), l'autre sur les arrangements effectifs à savoir le nombre (P entier !) de personnes par voiture en covoiturage.

Soit D la distance totale (aller) des navettes, N le nombre total de navetteurs (ou « OD parcourues »).

Pour un seuil donné de nombre de navettes communes, nous avons %distance et %navettes concernées (cf. ce qui précède)

Distance potentielle (ou maximale) parcourue en covoiturage : $D_{pot} = D \cdot \%distance$

¹⁷ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/2383177/fiche-ponderation.pdf>

¹⁸ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/2383177/fiche-depl-dom-travail.pdf>

Nombre potentiel (maximal) de navettes en covoiturage : $N_{pot} = N \cdot \%navettes$

Véhicules-kilomètres initiaux : $VK_i = D / TR_i$

TR_i est le taux initial de personnes par voiture (1,08 en domicile-travail, cf. CGDD, 2014)

Hypothèses :

- Nombre de navetteurs qui passent effectivement au covoiturage (qu'ils soient conducteurs ou passagers) : $N_{cov} = N_{pot} \cdot \%changent$
- Nombre de personnes par voiture en covoiturage : P

Distances parcourues en covoiturage : $D_{cov} = D_{pot} \cdot \%changent$

Véhicules-kilomètres finaux : $VK = (D - D_{pot}) / TR_i + D_{pot} \cdot (1 - \%changent) / TR_i + D_{cov} / P$

$= D / TR_i - D_{pot} \cdot \%changent / TR_i + D_{pot} \cdot \%changent / P$

$= D / TR_i + D_{pot} \cdot \%changent \cdot (1 / P - 1 / TR_i)$

Variation de véhicules-kilomètres :

$VK_i - VK = D / TR_i - D / TR_i - D_{pot} \cdot \%changent \cdot (1 / P - 1 / TR_i)$

$= D \cdot \%distance \cdot \%changent (1 / TR_i - 1 / P)$

Variation relative de véhicules-kilomètres :

$(VK_i - VK) / VK_i = (D \cdot \%distance \cdot \%changent (1 / TR_i - 1 / P)) \cdot TR_i / D =$

$\%distance \cdot \%changent (1 - TR_i / P)$

Nouveau taux de remplissage moyen : $TR = D / VK$

VK se réécrit : $VK = D / TR_i + D \cdot \%distance \cdot \%changent \cdot (1 / P - 1 / TR_i)$

$= D \cdot (1 / TR_i + \%distance \cdot \%changent \cdot (TR_i - P) / P \cdot TR_i)$

$= D / TR_i \cdot (1 + \%distance \cdot \%changent \cdot (TR_i - P) / P)$

D'où $TR = TR_i / (1 + \%distance \cdot \%changent \cdot (TR_i - P) / P)$

2.4.2.3 Scénarios de vélo-VAE

Les scénarios de développement de l'usage du vélo combinent une politique forte d'équipement en infrastructures, notamment de pistes cyclables, et l'émergence voire la généralisation du vélo à assistance électrique (VAE). Pour mémoire, dans la situation actuelle telle que mesurée par l'EMD Lyon 2015, la part du vélo est à peine mesurable (moins de 2% des déplacements sur l'aire d'enquête). Pourtant des agglomérations européennes, parfois de taille similaire à celle de Lyon, atteignent des scores très élevés (source EPOMM¹⁹). En Allemagne : 13% à Berlin, 25% à Karlsruhe, 14% à Munich, mais 5% seulement à Stuttgart ; plus au nord 22% à Amsterdam, 30% à Copenhague. L'agglomération française avec la part modale la plus élevée est celle de Strasbourg avec 8%. Ces chiffres sont bien sûr à prendre comme des ordres de grandeur, non strictement comparables car dépendants à chaque fois de l'aire d'enquête (notamment dans la part relative des zones urbaines denses et des zones peu denses). Mais les niveaux élevés atteints dans certaines agglomérations européennes montrent qu'il existe une marge d'amélioration pour les agglomérations françaises. Les scores atteints en Europe du Nord montrent que les conditions météorologiques ne sont pas vraiment un obstacle. Enfin, les différences importantes entre villes allemandes soulignent le rôle des politiques locales.

L'augmentation de l'usage du vélo pour la mobilité au quotidien en France ne semble donc pas un objectif inaccessible. Dès que l'on quitte les espaces urbains denses où la circulation automobile est

¹⁹ <http://www.epomm.eu/tems/> consulté le 06/02/18

naturellement ralentie par la densité de circulation, les carrefours et l'étroitesse des rues, il est nécessaire de protéger les cyclistes de cette circulation à l'aide d'un réseau de pistes cyclables. En France, en milieu périurbain et rural, cela implique de revenir sur des décennies d'aménagement routier en faveur des véhicules rapides pour rétablir des voies parallèles protégées, ce qui représente un coût certain et un effort de longue haleine pour les collectivités locales.

A cela s'ajoute l'opportunité nouvelle que représente l'émergence voire la généralisation future du vélo à assistance électrique (VAE). Son rayon d'action potentiel²⁰ (fonction de la capacité de la batterie) est de plusieurs dizaines de kilomètres à une vitesse de 20 à 25 km/h (limite réglementaire pour être autorisé à circuler sur piste cyclable). Sur la base de ces données techniques il semble raisonnable d'envisager un usage effectif au quotidien pour les déplacements d'une distance (aller) jusqu'à 10 km, soit une durée maximale de 25 à 30 mn. Cela correspond à une boucle totale de 20 km.

Il s'agit d'une distance parcourue effectivement sur un réseau viaire alors que les distances sont calculées à partir des bases de données MOBPRO ou EMD initialement « à vol d'oiseau » (entre centroïdes de communes). Comme le montre Héran (2009) pour calculer les facteurs de correction de la distance à vol d'oiseau il faut distinguer entre modes de déplacements – les détours sont différents entre vélo et voiture par exemple – et entre espaces traversés – le maillage du réseau viaire est différent entre zone urbaine et périphérie. Sur la base d'un échantillon limité à 100 cyclistes à Lille Héran estime le surcroît de distance supérieur à 20% en centre urbain et à 30% en périphérie. Il propose un coefficient moyen de 1,25. Le CERTU (2009) préconise pour le calcul des distances dans les enquêtes ménages-déplacements un coefficient de 1,35 (mais sans donner de justification de cette valeur) tout en indiquant un coefficient implicite de 1,25 dans le cas de l'EMD de Toulouse 1996 (méthode du plus court chemin en distance). Nous retenons donc un coefficient moyen de 1,25. Le maximum de 20 km en distance effective sur voirie devient donc un seuil maximal de 16 km à vol d'oiseau pour la totalité de la boucle, ce qui correspond à une portée maximale de déplacement de 8 km à vol d'oiseau. C'est ce seuil qui est retenu dans ce qui suit pour estimer la part des boucles transférables sur le vélo ou VAE. La recharge quotidienne ne sera pas nécessaire en dehors du domicile.

La consommation électrique²¹ (recharge de la batterie) est de l'ordre de 0,07 kWh/km. Les émissions de l'électricité pour le transport étant fixées à 48 g CO₂-e / kWh en France (cf. MTES 2017), l'émission liée à l'usage du VAE est estimée à environ 3 g CO₂-e / km, donc jugée négligeable.

Le VAE étant légalement considéré comme un vélo du fait de sa vitesse limitée, il ne semble pas y avoir d'âge minimum requis. Cela dit, il semble raisonnable de réserver son usage à partir de 10 ans.

2.4.2.4 Scénarios d'offre de transports collectifs

Il s'agit d'estimer le potentiel maximal de part de marché des transports en commun dans les boucles effectuées par les résidents dans chacun des trois carrés, et d'en déduire les parts correspondants à des scénarios volontaristes « haut » et « bas ».

L'analyse des données des EMD à Lyon et Strasbourg montre qu'il est pertinent de se focaliser d'une part sur les boucles réalisées par les actifs pour le travail, d'autre part sur les boucles réalisées par les scolaires (primaire, collège, lycée).

²⁰ Voir la gamme par exemple à <https://www.velo-electrique-attitude.com/7-velo-electrique-ville> consulté le 06/02/18

²¹ Calculs à partir de <http://energiepourdemain.fr/la-consommation-dun-velo-electrique/> consulté le 06/02/18

Concernant les actifs, compte tenu de la faiblesse des échantillons enquêtés sur les carrés périurbains dans le cadre des EMDs, nous nous appuyons sur des données issues du recensement (fichier MobPro 2013), où nous disposons de l'information sur le lieu de travail (donc la destination de la navette) et le mode de transport déclaré. Ce choix empirique est étendu au cas du carré métropolitain lyonnais.

Le mode de transport est identifié à travers la réponse à la question « Mode de transport principal le plus souvent utilisé pour aller travailler » : « 1 : Pas de transport », « 2 : Marche à pied », « 3 : Deux roues », « 4 : Voiture, camion, fourgonnette », « 5 : Transports en commun ». A noter qu'il n'y a pas de détail quant au type de transports en commun utilisé.

Dans le cas des deux carrés périurbains le niveau d'usage des TC par les actifs est assez différent selon que les boucles sont réalisées en interne au carré ou vers l'extérieur de celui-ci. Par ailleurs l'offre TC est une offre fondée sur le réseau de car et de lignes ferroviaires convergeant vers l'agglomération dont dépendent les carrés (Lyon ou Strasbourg). Cela justifie de décomposer l'analyse des potentiels entre une analyse portant sur les boucles réalisées en interne au carré et une analyse portant sur les boucles à destination de la zone de urbaine principale, en connexion avec le réseau lourd des transports collectifs urbains. Ces calculs de potentiels sont faits selon différentes hypothèses d'infrastructure et de services de transports collectifs.

Pour calibrer un modèle classique de choix modal, il faudrait idéalement disposer d'une part d'un nombre suffisant d'observations sur la demande, avec un bon degré de représentativité spatiale, d'autre part d'une représentation détaillée de l'offre en transports collectifs. Or dans les EMDs peu de données d'observation sont disponibles (717 actifs enquêtés sur l'ensemble du carré OL dans l'EMD 2015). D'un autre côté la base MOBPRO est limitée pour ce qui est des caractéristiques socioéconomiques des individus et nous ne savons pas quelle est la fréquence des déplacements réalisés par les actifs ni les heures auxquelles ils se déplacent. Enfin, si nous avons pu récupérer les fiches horaires pour l'offre TER, ces données sont plus compliquées à collecter pour les cars départementaux.

Nous prenons donc un parti tout à fait différent, celui d'estimer le potentiel maximal de report modal sur la base d'un principe d'« imitation », à savoir « si une personne le fait, tous le pourraient ». Concrètement, cela consiste à sélectionner les couples origine-destination (communes ou arrondissement) « faisables » en transport en commun, car effectuées au moins une fois par un individu selon ce mode (selon MobPro). Nous calculons alors la nouvelle part modale si tous les actifs qui réalisent leur navette en voiture particulière sur ces couples origine-destination basculaient sur les transports collectifs.

Pour les scolaires la source est l'EMD. Concernant les écoliers en primaire, le maillage spatial et la proximité des écoles aux lieux de résidence fait qu'un scénario de renforcement de l'usage des transports collectifs est peu pertinent. Ces élèves continueront à se déplacer à pied ou accompagnés en voiture, quitte à œuvrer pour une augmentation du remplissage des voitures.

Pour les collégiens et les lycéens nous appliquons une méthode d'« imitation » analogue à celle mise en œuvre pour les actifs.

2.5 Les indicateurs

Les indicateurs proposés ont pour but de fournir des éléments de diagnostic économique, social et environnemental sur les différentes formes urbaines obtenues.

Ce travail s'appuie sur des travaux méthodologiques réalisés dans les années 2000, notamment en ce qui concerne la mobilité et les transports (Gallez, 2000, 2002 ; Nicolas et al, 2001, 2002), mais également sur les préconisations de l'Etat en matière d'évaluation des projets de transport (MEDDE, 2014). Ces méthodologies sont à élargir au cas du logement dans ses dimensions de coûts supportés par les ménages.

Les indicateurs peuvent être regroupés en trois grandes catégories correspondant aux trois piliers du développement durable, à savoir environnemental, économique et social.

2.5.1 Effets environnementaux

Il s'agit des effets environnementaux directs liés essentiellement à la pollution atmosphérique et aux émissions de gaz à effet de serre. Notamment nous n'incluons pas le bruit (pertinent surtout pour étudier une infrastructure de transport particulière), ni les facteurs d'exposition de la population (par exemple les riverains pour le bruit), ni bien sûr la dispersion des polluants et d'autres effets plus larges ou indirects.

Les polluants atmosphériques sont ceux fournis dans les statistiques ou modèles d'émission standards (exemple, HBEFA) : CO HC NOx PM. Concernant les gaz à effet de serre, nous nous restreignons aux émissions de CO2 comme indicateur de ces gaz.

A cela s'ajoutent les taux de remplissage des différents types de véhicules (pour, par exemple, passer des passagers- kilomètres aux véhicules-kilomètres).

On calcule enfin l'énergie consommée dans les transports, qu'elle soit d'origine thermique (conversion de litres de carburant en kwh) ou électrique. Concernant les véhicules électriques, les émissions de CO2 tiendront compte du contenu en CO2 du mix électrique (français ou européen).

Le cas des émissions de CO2, la SNBC

La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) a été publiée en novembre 2015. Elle définit des orientations stratégiques pour la mise en œuvre, par secteur d'activité, de la « transition vers une économie bas carbone et durable »²². La SNBC fixe des objectifs chiffrés de réduction à court et moyen terme par l'intermédiaire de « budgets carbone ». Les budgets-carbone sont des plafonds d'émissions de gaz à effet de serre fixés par périodes successives de 4 à 5 ans. Trois premiers budgets-carbone ont été définis par secteur d'activité en 2015, ils couvrent les périodes 2015-2018, 2019-2023 et 2024-2028. Bien qu'ils soient « déclinés à titre indicatif » nous les retenons comme objectifs pour le secteur des transports et le secteur résidentiel-tertiaire.

Le « Résumé pour décideurs »²³ indique pour le secteur des transports un objectif de -29% par rapport à 2014 « à l'horizon du troisième budget carbone », que nous intégrons comme un objectif de -30% à l'horizon 2030, et un objectif de réduction « d'au moins 70% » d'ici à 2050. Pour le secteur du bâtiment (résidentiel-tertiaire) ces objectifs sont respectivement de -54% et -87%.

Bien entendu, il s'agit d'objectifs d'ensemble pour chaque secteur, à atteindre pour chacun dans sa globalité (et même à l'échelle de l'économie tout entière). Du point de vue de l'optimum économique les réductions devront être plus fortes là où elles coûtent le moins (en coût social). Cela peut vouloir dire que, par exemple, dans le transport certaines réductions soient plus élevées dans certains territoires que d'autres. Néanmoins, dans l'analyse qui suit nous déclinons ces objectifs au

²² <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone>

²³ https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/SNBC_r%C3%A9sum%C3%A9_20p_2015_FR.pdf

niveau de chaque territoire étudié, à la manière d'une référence pour évaluer la performance des mesures envisagées.

2.5.2 Effets économiques

Les effets économiques rassemblent les composantes de ce qu'on appelle traditionnellement le bien-être en économie, à savoir du point de vue des usagers du système de transport les coûts d'usage, le temps passé dans les déplacements et plus généralement des mesures d'accessibilité spatiale aux emplois et aux aménités urbaines. Au point de vue des usagers s'ajoute celui des opérateurs privés ou publics d'aménagement urbain, d'infrastructure et de services de transport (dépenses et recettes) et celui de la collectivité (variation globale de bien-être). A cela peuvent également s'ajouter des effets indirects plus larges (comme les effets indirects sur l'économie).

a) Pour le transport

Dans le cadre de Perithel, nous nous restreignons au point de vue des usagers, à savoir

- Les dépenses pour le transport (individus / ménages), le temps passé en déplacement
- Les variations d'accessibilité spatiale (par motif : emplois, études, commerces et services, aménités urbaines et plus généralement potentiel d'échanges interpersonnels)

Pour l'ensemble des coûts de transport (individus, ménages et collectivité) on se fonde sur les préconisations du ministère (MEDDE, 2014 ; cf. fiche « Valeurs recommandées pour le calcul socio-économique »).

b) Pour le logement

La simulation des variations de ces coûts s'appuiera sur le module intégré dans le modèle MARS pour Strasbourg et Mulhouse.

2.5.3 Effets sociaux

L'enjeu principal est celui de la réduction des inégalités et l'identification de gagnants et de perdants potentiels face aux différents scénarios de formes urbaines et de leur desserte par le système de transport (infrastructures et services). Cette identification s'appuie essentiellement sur les indicateurs de gains de temps ou d'accessibilités, avec des déclinaisons spatiales (selon les zones) ou sociales (selon les catégories d'individus ; exemple, classes de revenus, statuts, etc.).

Ces déclinaisons peuvent s'appuyer sur l'accessibilité gravitaire, en calculant ces indices pour des catégories sociales particulières (classes de revenus, PCS ou encore des groupes socio-démographiques définis selon leur structure familiale par exemple) et en produisant des tableaux récapitulatifs ou des cartes spécifiques suivant les exemples précédents. Cependant, cela nécessite de collecter ou d'estimer les données y afférentes (par exemple, déclinaison spatiale des actifs par PCS et des catégories d'emploi liées à ces PCS).

3 SIMULATIONS DE FORMES URBAINES SUR LES TROIS « CARRES »

3.1 Simulations sur le carré Ouest Lyonnais

Le Tableau 23 ci-après donne les projections Omphale pour le carré Ouest Lyonnais.

	2013	2015	2030	2045	2050	variation / 2015			
						2015	2030	2045	2050
Actifs	70 874	72 570	82 013	89 413	90 996	0%	13%	23%	25%
Ménages	57 365	59 170	70 830	79 971	82 388	0%	20%	35%	39%
Population	145 729	149 175	172 028	190 211	195 151	0%	15%	28%	31%
[00-04]	9 299	9 318	10 042	11 184	11 169	0%	8%	20%	20%
[05-10]	12 502	12 829	13 681	14 903	15 291	0%	7%	16%	19%
[11-14]	8 504	8 654	9 500	10 089	10 483	0%	10%	17%	21%
[15-17]	6 141	6 363	7 209	7 521	7 778	0%	13%	18%	22%
[18-30]	18 811	19 272	21 920	22 879	23 031	0%	14%	19%	20%
[31-45]	29 681	29 510	31 734	34 434	34 986	0%	8%	17%	19%
[46-60]	29 931	30 946	33 314	35 212	35 747	0%	8%	14%	16%
[61-99]	30 860	32 283	44 628	53 989	56 666	0%	38%	67%	76%

Tableau 23 : Projections Omphale sur le carré Ouest Lyonnais

Les projections Omphale nécessitent un territoire d'au moins 50.000 habitants, ce qui fait qu'il n'est pas possible d'avoir, à l'intérieur du carré Ouest Lyonnais, une projection séparée pour les 4 pôles. Nous prenons les données de la population et des actifs issus du RGP 2013 (pour lequel nous pouvons calculer la répartition entre les 4 pôles et le « hors pôle ») et leur appliquons la croissance estimée par Omphale entre 2013 et 2015. Cela nous permet de ventiler notre population entre les 4 pôles et le « hors-pôle ». Nous appliquons ensuite à chacune de ces deux zones et pour chaque catégorie de population les projections de croissance en pourcentage issues de Omphale pour le carré OL dans son ensemble aux horizons 2030 et 2050 (cf. Tableau 24).

2015	Les 4 pôles	Hors pôles	Total	% pôles / hors pôles 2015	Les 4 pôles	Hors pôles	Total
Population	26 123	123 051	149 174	Population	18%	82%	100%
Actifs	12 060	60 337	72 397	Actifs	17%	83%	100%
[05-10]	2 247	10 582	12 829	[05-10]	18%	82%	100%
[11-14]	1 515	7 139	8 654	[11-14]	18%	82%	100%
[15-17]	1 114	5 249	6 363	[15-17]	18%	82%	100%
Eparpillement 2030				Eparpillement 2050			
Population	30 125	141 901	172 027	Population	34 175	160 975	195 150
Actifs	13 630	68 188	81 818	Actifs	15 123	75 657	90 780
[05-10]	2 396	11 285	13 681	[05-10]	2 678	12 613	15 291
[11-14]	1 664	7 836	9 500	[11-14]	1 836	8 647	10 483
[15-17]	1 262	5 947	7 209	[15-17]	1 362	6 416	7 778
2030-2015				2050-2015			
Population	15%	15%	15%	Population	31%	31%	31%
Actifs	13%	13%	13%	Actifs	25%	25%	25%
[05-10]	7%	7%	7%	[05-10]	19%	19%	19%
[11-14]	10%	10%	10%	[11-14]	21%	21%	21%
[15-17]	13%	13%	13%	[15-17]	22%	22%	22%
Polarités 2030				Polarités 2050			
Population	48 976	123 051	172 027	Population	72 099	123 051	195 150
Actifs	21 481	60 337	81 818	Actifs	30 443	60 337	90 780
[05-10]	3 099	10 582	13 681	[05-10]	4 709	10 582	15 291
[11-14]	2 361	7 139	9 500	[11-14]	3 344	7 139	10 483
[15-17]	1 960	5 249	7 209	[15-17]	2 529	5 249	7 778
2030-2015				2050-2015			
Population	87%	0%	15%	Population	176%	0%	31%
Actifs	78%	0%	13%	Actifs	152%	0%	25%
[05-10]	38%	0%	7%	[05-10]	110%	0%	19%
[11-14]	56%	0%	10%	[11-14]	121%	0%	21%
[15-17]	76%	0%	13%	[15-17]	127%	0%	22%

Tableau 24 : Projections de population dans le carré OL selon les configurations spatio-fonctionnelles

3.1.1 Description des mobilités dans le carré OL

3.1.1.1 La mobilité des actifs pour le travail

Les actifs du carré OL effectuent en moyenne 0,82 boucles par jour pour le travail. Ces boucles sont effectuées à 83% en voiture particulière comme conducteur, 7% en transports collectifs et 5% en marche à pied (mais à 12% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 53% une destination hors du carré OL avec une portée moyenne (distance aller au lieu de travail) de 28,1 km.

3.1.1.2 Les « primaires » (5-10 ans)

Les primaires effectuent en moyenne 1,12 boucles par jour pour aller à l'école. Ces boucles sont effectuées à 73% en voiture particulière et 25% en marche à pied (mais à 34% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 93% une destination dans le carré OL avec une portée moyenne de 6,6 km.

3.1.1.3 Les « collégiens » (11-14 ans)

Les collégiens effectuent en moyenne 1,02 boucles par jour pour aller au collège. Ces boucles sont effectuées à 50% en transports collectifs, 33% en voiture particulière (passager) et 16% en marche à

ped (mais à 48% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 79% une destination dans le carré OL avec une portée moyenne de 9,3 km.

3.1.1.4 Les « lycéens » (15-17 ans)

Les lycéens effectuent en moyenne 1,00 boucle par jour pour aller au lycée. Ces boucles sont effectuées à 58% en transports collectifs, 28% en voiture particulière (passager) et 8% en marche à pied (mais à 31% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 58% une destination hors du carré OL avec une portée moyenne de 15,3 km.

3.1.1.5 Les autres motifs

Pour les motifs autres qu'aller au travail ou en établissement scolaire, la population du carré OL effectue en moyenne 0,78 boucle par jour. Ces boucles sont effectuées à 49% en voiture particulière (conducteur), 36% en marche à pied et 12% en voiture particulière (passager), mais à 57% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles. Elles ont à 79% une destination dans le carré OL avec une portée moyenne de 10,2 km.

Ces comportements de mobilité différents selon la zone de résidence (notamment la forte part de la marche à pied dans les 4 pôles) justifient a posteriori, le calcul différencié des mobilités selon la distinction pôles / hors pôles.

Pop_TMot_VPP	OL.4.pôles	OL.hors.pôles	Z4.RESTE	Total
OL 4 pôles	13%	14%	19%	14%
OL hors pôles	22%	17%	15%	17%
Total	15%	17%	16%	16%
Pop_TMot_VPC	OL.4.pôles	OL.hors.pôles	Z4.RESTE	Total
OL 4 pôles	24%	82%	65%	37%
OL hors pôles	61%	44%	65%	53%
Total	35%	46%	65%	49%
Pop_TMot_TC	OL.4.pôles	OL.hors.pôles	Z4.RESTE	Total
OL 4 pôles	3%	5%	16%	5%
OL hors pôles	14%	3%	18%	9%
Total	6%	3%	18%	8%
Pop_TMot_MAP	OL.4.pôles	OL.hors.pôles	Z4.RESTE	Total
OL 4 pôles	60%	0%	0%	44%
OL hors pôles	3%	34%	0%	20%
Total	43%	33%	0%	25%

Tableau 25 : Parts modales (boucles), population totale, tous motifs (carré OL, source EMD Lyon 2015)

Règle de lecture : la part modale de la voiture comme passager (VPP) est de 13% pour les boucles émises depuis un domicile dans les 4 pôles vers une destination principale dans les 4 pôles ; la part modale de la voiture comme passager (VPP) pour toutes les boucles émises depuis les 4 pôles est de 14%.

Pop_TMot_TMd	OL.4.pôles	OL.hors.pôles	Z4.RESTE	Total
OL 4 pôles	5.4	21.5	34.8	12.2
OL hors pôles	15.5	7.9	28.9	15.5
Total	8.4	8.5	29.7	14.8

Tableau 26 : Moyenne des kilomètres parcourus par boucle, population totale, tous modes, tous motifs (carré OL, source EMD Lyon 2015)

Règle de lecture : la distance moyenne totale parcourue (à vol d'oiseau) des boucles émises depuis un domicile dans les 4 pôles vers une destination principale dans les 4 pôles est de 5,4 km ; la distance moyenne totale parcourue pour toutes les boucles émises depuis les 4 pôles est de 12,2 km.

3.1.2 Application des scénarios de mobilité

L'analyse précédente permet de spécifier par catégories de boucles – groupe sociodémographique x motif – les scénarios (ou leviers comportementaux) de mobilité qui sont appliqués (cf. Tableau 27).

Catégories de boucles	Emissions 2030 et 2050	Covoiturage	Vélo-VAE	TC
Act x Trav	x	x	x	x
Scol x Scol	(sur VPP et TC)			
- Sc05	x	n.a.	x	n.a.
- Sc11	x	n.a.	x	x
- Sc15	x	n.a.	x	x
Tot x NoTravNoScol	x	n.a.	x	n.a.

Tableau 27 : Scénarios d'émissions et de mobilité appliqués par catégorie de boucles (carré OL)

Les scénarios technologiques d'émission (par la voiture particulière et les transports collectifs) sont applicables à toutes les catégories de boucles, les actifs pour le travail et les motifs autres que travail bien sûr mais aussi toutes les catégories scolaires, étant donné la part importante de l'accompagnement en voiture.

On considère a priori que les scénarios de covoiturage n'ont de potentiel d'économie de véhicules-kilomètres que pour les boucles des actifs liées au travail, étant donné les distances parcourues (28 km en moyenne) et le faible taux de remplissage actuel (1,08). Le potentiel est bien moindre sur la mobilité des écoliers en primaire qui reste largement locale tandis que la question de la réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les collégiens et les lycéens est traitée en priorité par un transfert potentiel sur les transports collectifs. Nous laissons de côté les boucles pour les autres motifs (achats et autres) réalisées en voiture particulière, qui se caractérisent déjà par un taux de remplissage moyen élevé (1,5), bien qu'il puisse y avoir des enjeux certains (portée moyenne de 10 km) : mais ce type de mobilité – irrégulière – nécessiterait des politiques de covoiturage (par exemple du type « autoparc 2.0 ») difficiles à évaluer ex ante.

Les scénarios de vélo (impliquant le vélo à assistance électrique) concernent a priori, comme argumenté ci-après, toutes les catégories de boucles.

Les scénarios de transports collectifs ne sont appliqués qu'aux boucles liées au travail et aux boucles scolaires des collégiens et lycéens. Les transports collectifs n'ont pas de pertinence a priori pour la mobilité de proximité des primaires ainsi que pour celle des autres motifs, aux horaires et origines-destinations très éclatées.

3.1.3 Estimation du covoiturage effectif pour le carré OL

Le périmètre retenu est celui des communes du Carré Ouest Lyonnais.

Le graphique suivant compare les parts des distances et des navettes origine-destination (OD) potentielles selon un seuil (en abscisse) de nombre brut d'OD communes. Les courbes sont affichées d'une part pour les données brutes, d'autre part pour les données redressées (à partir des données brutes). On voit qu'il n'y a pas de biais notable.

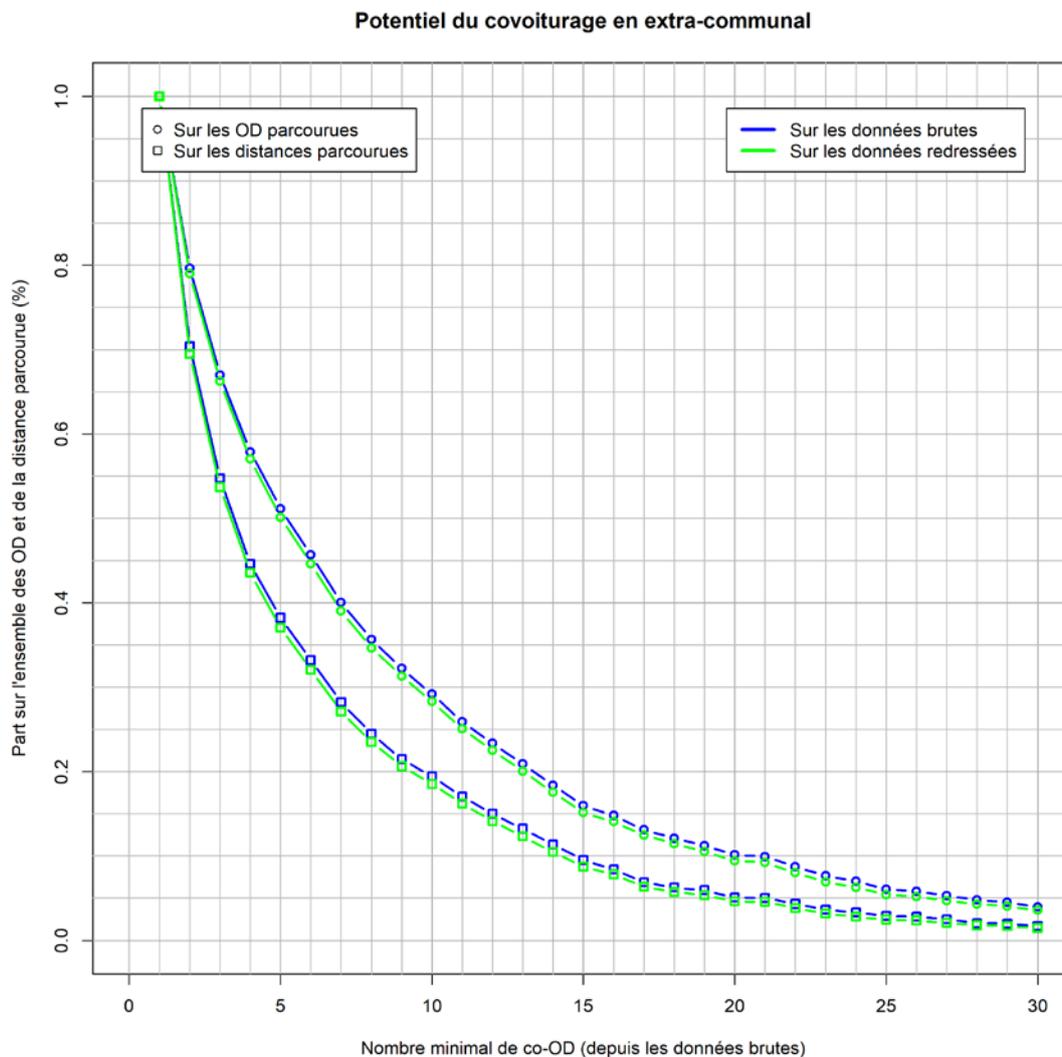


Figure 10 : Parts des navettes domicile-travail et des distances en fonction du nombre d'OD communes (données brutes et données redressées) (carré OL)

Le graphique se lit ainsi : les origines-destinations communes à au moins 10 individus représentent près de 20% des kilomètres totaux et près de 30 % des actifs du carré.

Le Tableau 169 en Annexe 5 donne les chiffres de ces distributions pour les données brutes.

Les tableaux ci-dessous exposent quelques résultats. Le potentiel maximal de réduction s'obtient en supposant que 100% des navetteurs potentiels changent et que les arrangements sont au maximum, soit 4 occupants par voiture.

Le potentiel maximal de réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les navettes domicile-travail s'établit donc à près de 30% avec un taux de remplissage moyen de 1,5.

Données carré OL			
Seuil nb navettes communes	5	10	15
% de navetteurs potentiels	50%	30%	15%
% distance potentielle	40%	20%	10%
Nb de personnes par voiture (avant)	1.08	1.08	1.08
Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	100%	100%	100%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4
Résultats			
% v-km économisés	29%	15%	7%
Taux remplissage moyen	1.53	1.26	1.17

Tableau 28 : Résultats de simulation du potentiel maximal de covoiturage (carré OL)

Nous prenons pour hypothèse que 50% des covoitureurs potentiels passent au covoiturage, c'est-à-dire qu'ils surmontent des difficultés organisationnelles (s'accorder sur l'heure de départ de la navette) et d'autres barrières éventuelles (exemple, accepter de partager un véhicule). Par ailleurs, le nombre de personnes par « co-voiture » va être variable selon la taille des groupes appariables : nous le fixons à 2 quand les groupes sont de cinq personnes et plus, à 3 pour les groupes de 10 personnes et plus, et fixons son maximum à 4 au-delà pour des raisons de confort dans un véhicule léger. L'effet de ce dernier paramètre est pondéré par le pourcentage de distance potentielle et le pourcentage de navetteurs qui passent effectivement au covoiturage.

Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	50%	50%	50%
Nb de personnes par co-voiture	2	3	4
Résultats			
% v-km économisés	9%	6%	4%
Taux remplissage moyen	1.19	1.15	1.12

Tableau 29 : Résultats de simulation du covoiturage (carré OL)

On voit qu'avec ces hypothèses, le pourcentage de véhicules-kilomètres économisés varie entre 4% et 9%, le taux de remplissage augmentant légèrement jusqu'à 1,2.

Supposons qu'une politique vigoureuse et effective en faveur du covoiturage aboutisse à faire basculer 80% des navetteurs potentiels vers le covoiturage. Le Tableau 30 ci-après montre que l'on arrive à un maximum de 15% de véhicules-kilomètres économisés et un taux de remplissage proche de 1,3.

Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	80%	80%	80%
Nb de personnes par co-voiture	2	3	4
Résultats			
% v-km économisés	15%	10%	6%
Taux remplissage moyen	1.27	1.20	1.15

Tableau 30 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement maximal (carré OL)

Supposons qu'une politique également vigoureuse et effective aboutisse à un arrangement maximal pour remplir les voitures, soit 4 personnes par voiture pour ceux qui basculent vers le covoiturage. Le Tableau 31 ci-après montre qu'on arrive également à une économie maximale de 15% de véhicules-kilomètres et un taux de remplissage proche de 1,3.

Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	50%	50%	50%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4
Résultats			
% v-km économisés	15%	7%	4%
Taux remplissage moyen	1.26	1.17	1.12

Tableau 31 : Résultats de simulation du covoiturage avec arrangement maximal (carré OL)

En cumulant ces deux effets, de manière très volontariste, le pourcentage de véhicules-kilomètres économisés pourrait monter à 23% (cf. Tableau 32) avec un taux de remplissage de 1,4.

Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	80%	80%	80%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4
Résultats			
% v-km économisés	23%	12%	6%
Taux remplissage moyen	1.41	1.22	1.15

Tableau 32 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement et arrangement maximaux (carré OL)

En résumé, le potentiel maximal de réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les navettes domicile-travail s'établit à près de 30% avec un taux de remplissage moyen de 1,5. Compte tenu des incertitudes liées principalement aux hypothèses sur les comportements, on peut retenir en ordre de grandeur dans un scénario « volontariste bas » un taux de remplissage moyen de 1,2 sur les boucles domicile-travail (avec environ 10% de véhicules-kilomètres économisés) et dans un scénario « volontariste haut » un taux de remplissage moyen de 1,4 sur les boucles domicile-travail (avec environ 20% de véhicules-kilomètres économisés).

3.1.4 Potentiels de part modale en vélo-VAE dans le carré OL

Nous déclinons l'estimation de ces potentiels par groupe socio-démographique et par motif, en nous fondant sur les données d'enquête de l'EMD Lyon 2015.

3.1.4.1 Les actifs pour aller au travail

Statistiques	km
min	1.3
C10	4.5
C25	9.6
median	22.9
mean	28.1
C75	39.6
C90	59.0
max	184.0

Tableau 33 : Statistiques de distances des boucles pour le travail (carré OL)

En retenant le seuil de 16 km, nous avons entre 25% et 50% des boucles. En interpolant linéairement nous retenons 37% des boucles, part de laquelle nous déduisons 5% réalisées en marche à pied. Nous supposons que si des déplacements pour accompagnement ou pour achats sont réalisés à l'intérieur de ces boucles pour le travail, ceux-ci peuvent être faits en vélo (VAE), moyennant un équipement adhoc (nacelle, carriole, etc.) ou sont alloués à un autre membre du foyer. Le potentiel s'établit donc à 32% des boucles travail. Nous retenons comme scénario volontariste haut cette même part de 32% et comme scénario volontariste bas, environ la moitié soit 16% des boucles.

3.1.4.2 Les 5-10 ans pour aller à l'école

Statistiques	km
min	1.8
C10	2.3
C25	3.2
median	4.3
mean	6.6
C75	6.9
C90	10.5
max	82.5

Tableau 34 : Statistiques de distances des boucles pour l'école primaire (carré OL)

Rappelons que nous postulons un usage du VAE réservé aux 10 ans et plus. Donc pour les « primaires » nous nous restreignons au vélo classique et donc à un déplacement d'une distance raisonnable de 2 km au maximum pour ces écoliers (éventuellement accompagnés selon le degré de sécurité offert par le réseau cyclable), soit une boucle d'un total de 4 km à vol d'oiseau (soit 5 km en distance effective). Cela correspond à la médiane. Il faut cependant déduire les 25% de boucles effectuées en marche à pied, ce qui donne un potentiel de 25% de boucles pour le vélo. Nous retenons cette même valeur pour le scénario volontariste haut, et la moitié soit 13% pour le scénario volontariste bas.

3.1.4.3 Les 11-14 ans pour aller au collège

Statistiques	km
min	1.3
C10	3.3
C25	4.2
median	7.3
mean	9.3
C75	11.5
C90	17.4
max	48.4

Tableau 35 : Statistiques de distances des boucles pour le collège (carré OL)

Nous retenons là encore une valeur raisonnable en sélectionnant la médiane à 7,3 km (soit une portée des déplacements de 3 à 4 km à vol d'oiseau, ou encore 5 km au maximum en distance effective). De ces 50% de boucles il faut déduire les 16% effectués en marche à pied. Soit un potentiel de 34% des boucles, que nous assimilons également au scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 17% des boucles.

3.1.4.4 Les 15-17 ans pour aller au lycée

Statistiques	km
min	2.0
C10	3.8
C25	7.5
median	12.6
mean	15.3
C75	22.5
C90	27.2
max	56.5

Tableau 36 : Statistiques de distances des boucles pour le lycée (carré OL)

Là encore nous retenons la médiane (12,6 km) soit une portée de déplacement de 6 km environ à vol d'oiseau (ou 7,5 km maximum en distance effective), seuil raisonnable pour les lycéens. De ces 50% il faut déduire les 8% de boucles réalisées en marche à pied, ce qui donne un potentiel de 42% des boucles, auquel on identifie le scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 21% des boucles.

3.1.4.5 Le reste de la population

Statistiques	km
min	1.2
C10	2.4
C25	3.8
median	5.3
mean	11.2
C75	13.0
C90	26.6
max	108.7

Tableau 37 : Statistiques de distances des boucles tous modes et tous motifs des « inactifs » (carré OL)

On peut retenir 75% des boucles, soit à moins de 13 km, soit une portée de déplacement de 6,5 km, ou 8 km en distance effective, en-dessous du seuil de 10 km. Toutefois 36% des boucles sont réalisées en marche à pied, donc le potentiel s'établit à près de 40% des boucles.

Cependant, selon les motifs l'usage du vélo est plus ou moins difficile. Le Tableau 38 donne la répartition par motif des boucles réalisées par les personnes autres que actifs et scolaires ou étudiants, soit les « inactifs ».

Motif	Part des boucles
Accompagnements	15%
Affaires personnelles	14%
Achats en grande surface	16%
Achats en petit commerce	22%
Libre	31%
Autres	2%
Total	100%

Tableau 38 : Parts des motifs dans les boucles des « inactifs » (carré OL)

Il semble raisonnable d'exclure les accompagnements (quoique) et les achats en grande surface, soit environ 30% des boucles. Nous appliquons ce facteur correctif (0,69) au potentiel de 40%, soit un potentiel ultime de 28% auquel on identifie le scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 14% des boucles.

3.1.4.6 Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales

	Potentiel maximum	Scénario volontariste haut	Scénario volontariste bas
Actifs boucles travail	32%	32%	16%
Scolaires 5-10 ans boucles études	25%	25%	13%
Scolaires 11-14 ans boucles études	34%	34%	17%
Scolaires 15-17 ans boucles études	42%	42%	21%
Reste population	40%	28%	14%

Tableau 39 : Récapitulatif des scénarios vélo pour le carré OL

Pour le vélo, les modes concernés par une réallocation des boucles sont la voiture particulière en tant que conducteur ou passager, les transports collectifs et les modes « autres ». Nous supposons que les boucles en marche à pied ne sont pas concernées. La méthode consiste à réallouer les boucles réalisées par les modes concernés au prorata de leur part initiale dans le total des boucles concernées.

3.1.5 Scénarios TC dans le carré OL

Il s'agit d'estimer le potentiel maximal de part de marché des transports en commun dans les boucles²⁴ effectuées par les résidents du carré OL, et d'en déduire les parts correspondants à des scénarios volontaristes « haut » et « bas ».

L'analyse des données de l'EMD Lyon 2015 montre que la part des transports collectifs tous motifs confondus s'élève globalement à 8% des boucles réalisées par les résidents du carré OL quelque soit la destination (cf. Tableau 40). Si l'on se limite aux motifs non obligés (donc hors travail et hors école), cette part baisse à 2%.

Boucles	Destination				Total
	OL 4 pôles	OL hors pôles	Carré OL	Reste périmètre EMD	
Tous motifs en TC	6%	3%	4%	18%	8%
Motifs autres que travail ou études en TC	1%	0%	1%	6%	2%

Tableau 40 : Parts de marché des TC dans les boucles (carré OL, EMD 2015)

Il est donc pertinent de se focaliser d'une part sur les boucles réalisées par les actifs pour le travail, d'autre part sur les boucles réalisées par les scolaires (primaire, collège, lycée).

Concernant les scolaires, selon l'EMD Lyon 2015 les écoliers de primaire (5-10 ans, 150 enquêtés sur le carré OL) n'utilisent que très peu les TC (2% des boucles) et vont à l'école majoritairement accompagnés en voiture (73%) ou à pied (25%). Les collégiens (11-14 ans, 115 enquêtés) utilisent

²⁴ Rappelons qu'il s'agit des boucles effectuées dans le périmètre de l'EMD 2015 – donc au-delà du seul carré OL – mais internes à ce périmètre de manière à pouvoir repérer précisément le lieu de destination et donc calculer les distances parcourues

les TC à 50%. Les lycéens (15-17 ans, 71 enquêtés) sont dans une situation similaire de ce point de vue (58% en TC).

Le cas des « étudiants » (repérés comme statut « étudiants » et ayant 18 ans et plus) est particulier. Ils ne sont que 57 enquêtés dans le carré OL et déclarent en tout 53 boucles domicile-études le jour d'enquête. La marche à pied représente 30% de ces boucles, contre 42% pour les TC, 17% pour la voiture comme conducteur et 11% pour la voiture comme passager. La forte part de la marche à pied indique qu'une partie des étudiants interrogés logent sur un campus ou à proximité de celui-ci. D'une manière générale la population étudiante est assez mal appréhendée à travers les enquêtes ménages-déplacements. Au vu de la faible taille de cet échantillon sur le carré OL nous le laissons de côté quitte à l'assimiler à la population des actifs.

3.1.5.1 Données

Concernant les actifs, compte tenu de la faiblesse de l'échantillon enquêté sur le carré OL dans le cadre de l'EMD Lyon 2015, nous nous appuyons sur des données issues du recensement (fichier MobPro 2013), où nous disposons de l'information sur le lieu de travail (donc la destination de la navette) et le mode de transport déclaré.

La question se pose d'utiliser les données brutes ou redressées (cf. supra). Une rapide comparaison des parts modales brutes et redressées (cf. Annexe 5) montre qu'il n'y a pas de différence notable entre ces deux approches. Nous exploitons donc les données redressées.

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
3 190	3 064	1 243	52 167	5 242	64 906
5%	5%	2%	80%	8%	100%

Tableau 41 : Répartition des actifs du carré OL en fonction de leur mode de transport déclaré (Mobpro 2013)

Concernant les scolaires nous utilisons l'EMD Lyon 2015.

L'offre actuelle en transports collectifs (réseaux et services) est appréhendée à l'aide des sources suivantes :

Liste des gares ferroviaires :

SNCF (<http://www.sncf.com/fr/gares/services>),

Wikipédia (https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_gares_de_Rh%C3%B4ne-Alpes)

Cf. Annexe 6

Services ferrés

Source : SNCF (<https://www.ter.sncf.com/auvergne-rhone-alpes/depliant/recherche>)

Services de cars départementaux

Source : Car du Rhône (<http://www.carsdurhone.fr/lignes-horaires>)

Services de TC urbains :

Liste des stations métro et tramway TCL (<http://tcl.fr/Decouvrir-TCL/Le-reseau>)

3.1.5.2 Méthode

Comme indiqué plus haut nous distinguons les actifs pour le travail et les scolaires pour se rendre à l'établissement d'enseignement (école, collège, lycée).

Pour les actifs le Tableau 40 plus haut montre que le niveau d'usage des TC est assez différent selon que les boucles sont réalisées en interne au carré OL ou vers l'extérieur de celui-ci. Par ailleurs l'offre TC est une offre fondée sur le réseau de car et trois lignes ferroviaires convergeant vers l'agglomération de Lyon (cf. carte). Cela justifie de décomposer l'analyse des potentiels entre une analyse portant sur les boucles réalisées en interne au carré OL et une analyse portant sur les boucles à destination de la zone de Lyon en connexion avec le réseau lourd des transports collectifs urbains.

En outre, nous évaluons des scénarios de desserte ferroviaire lorsque l'infrastructure (gares) ou les services sont présents. Dans un scénario d'infrastructure nous retenons les communes pourvues d'une gare voyageur (ou halte ferroviaire) en activité (cf. fiches horaires). Dans un scénario de services nous retenons les communes reliées par au moins un service TER(-train) quotidien. A noter que l'interconnexion des trois lignes TER qui parcourent le périmètre permet les correspondances entre l'ensemble des liaisons et donc la jonction entre toutes les gares d'arrêt. Le résultat peut alors être soit global (en intégrant la possibilité de correspondances), soit restreint (en limitant les OD possibles à l'utilisation d'un seul service TER-ferré sans correspondance).

Les scénarios concernant les navettes à destination de l'agglomération de Lyon consistent à sélectionner à destination les communes ou arrondissement de Lyon desservis par le métro ou le tramway (à noter que le réseau TCL est entendu pour l'année 2013).

3.1.5.3 Résultats

a) Boucles domicile-travail intra-carré OL

Imitation TC maximale en intra-carré OL :

Si l'on se restreint aux origines-destinations communales réalisées au moins une fois en TC (cf. Tableau 42), on constate que 656 actifs réalisent leur navette en TC tandis que sur ces mêmes OD 7.766 actifs les réalisent en automobile.

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
1 882	2 124	317	7 766	656	12 744
15%	17%	2%	61%	5%	100%

Tableau 42 : Répartition modale des actifs du carré OL sur les OD effectuées en TC en intra-carré OL

En supposant que tous ces utilisateurs de l'automobile passent aux TC, la répartition modale globale devient celle exposée en Tableau 43.

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
3 190	3 064	1 243	44 401	13 008	64 906
5%	5%	2%	68%	20%	100%

Tableau 43 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation maximale TC en intra-carré OL

Les navetteurs TC passent alors de 5.242 à 13.008 actifs, soit de 8 % à 20 % de l'ensemble des actifs résidents dans le carré OL. Le potentiel de transfert de la voiture aux transports en commun est ainsi de 12 points de pourcentage du total des navetteurs.

En ne retenant cette fois, parmi ces navetteurs TC imités, que les seules navettes extra-communales, nous obtenons la distribution suivante :

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
16	10	74	2 241	329	2 670
1%	0%	3%	84%	12%	100%

Tableau 44 : Répartition modale des actifs du carré OL sur OD extra-communales effectuées en TC en intra-carré OL

Il ne s'agit plus que de 329 navetteurs TC qui peuvent être potentiellement imités par 2.241 navetteurs VP. La répartition modale globale se dessine dès lors ainsi (cf. Tableau 45).

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
3 190	3 064	1 243	49 926	7 483	64 906
5%	5%	2%	77%	12%	100%

Tableau 45 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation TC en intra-carré OL

Le potentiel de report modal est alors de seulement 4 points.

Imitation TC ferroviaire en intra-carré OL – hypothèse infrastructurelle :

La répartition modale des navettes entre deux communes distinctes (donc en extra-communal exclusivement) disposant chacune d'une gare, qu'il existe un service ferré ou non, est donnée en Tableau 46.

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
20	37	50	2 424	98	2 629
1%	1%	2%	92%	4%	100%

Tableau 46 : Répartition modale des actifs du carré OL sur OD entre gares effectuées en TC en intra-carré OL

Sur les 2.699 navettes reliant deux communes pourvues de gare, seulement 98 sont effectuées en transport en commun et 2.424 en véhicule automobile. En basculant ces navetteurs VP en TC, la part globale du TC pour les résidents du carré OL passerait de 8 à 12 % (cf. Tableau 47).

3 190	3 064	1 243	49 743	7 666	64 906
5%	5%	2%	77%	12%	100%

Tableau 47 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation TC (gares) en intra-carré OL

Le potentiel de report modal est de 4 points.

Imitation TC ferroviaire en intra-carré OL – hypothèse des services :

En se concentrant cette fois, non plus sur l'infrastructure ferrée et donc la nécessité de créer de nouveaux services coûteux, mais sur les services ferrés actuellement existants, 1.358 navetteurs VP pourraient profiter des services TER disponibles pour utiliser les TC, à l'instar des 63 navetteurs actuels (cf. Tableau 48).

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
12	28	27	1 358	63	1 487
1%	2%	2%	91%	4%	100%

Tableau 48 : Répartition modale des actifs du carré OL sur OD reliées par train effectuées en TC en intra-carré OL

La part TC globale passerait de 8 à 10 % (cf. Tableau 49), soit un potentiel de transfert modal de 2 points.

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
3 190	3 064	1 243	50 809	6 600	64 906
5%	5%	2%	78%	10%	100%

Tableau 49 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation TC (services ferrés) en intra-carré OL

b) Boucles domicile-travail vers Lyon

Ici on s'intéresse aux navettes vers Lyon, c'est-à-dire vers les communes (arrondissements) desservies par le réseau lyonnais de métro seulement, ou de métro et de tramway.

Les arrondissements desservis par les gares (Perrache, Part-Dieu, Jean-Macé et Vaise) sont les 1^{er}, 3^e, 7^e et 9^e arrondissements de Lyon. Si l'on ajoute la possibilité de correspondance en utilisant le réseau lourd TCL, alors on pouvait atteindre en 2013 :

- avec le métro : Lyon (tous les arrondissements), Villeurbanne, Vaulx-en-Velin, Vénissieux, Caluire-et-Cuire ;
- en ajoutant le tramway : Bron, Chassieu, Décines-Charpieu, Feyzin, Meyzieu, Saint-Priest.

Le Tableau 50 permet de comparer les parts modales selon que l'on considère les correspondances avec le métro seulement ou avec le métro et le tram. Les deux répartitions par mode sont très proches.

Communes	Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
Métro	13	43	279	8 766	3 461	12 563
	0%	0%	2%	70%	28%	100%
Métro & Tram	13	47	283	10 105	3 570	14 019
	0%	0%	2%	72%	25%	100%

Tableau 50 : Répartition modale des navettes vers Lyon avec possibilité de correspondance métro et correspondance métro-tram (carré OL)

On peut donc se limiter aux seules correspondances avec le métro, en dénommant « Lyon-métro » l'ensemble des communes ou arrondissements atteignables avec une correspondance métro.

En premier lieu nous considérons les OD pour lesquelles il existe un service ferré TER entre la commune de départ et les gares TER de Lyon. Chaque commune du carré OL disposant d'un service TER n'aura donc qu'une liste très limitée de communes (en fait d'arrondissements) accessibles, en effet, chaque service ferré ne desservant qu'une ou deux gares lyonnaises. Pour autant, en prenant en compte la possibilité de la correspondance métro, l'ensemble des communes de la zone « Lyon-métro » sont accessibles. On retient ici cette seconde hypothèse.

Il s'agit dès lors de 4.355 actifs répartis globalement à deux-tiers en automobile et à un tiers en TC. Le potentiel est alors le passage des 2.857 actifs initialement en automobile vers les TC (cf. Tableau 51).

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
8	26	66	2 857	1 398	4 355
0%	1%	2%	66%	32%	100%

Tableau 51 : Répartition modale des actifs du carré OL sur les OD reliées à « Lyon-métro » par train

Le Tableau 52 de nouvelle répartition modale globale montre que le potentiel de transfert modal est de 4 points de pourcentage.

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
3 190	3 064	1 243	49 310	8 099	64 906
5%	5%	2%	76%	12%	100%

Tableau 52 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation sur les OD reliées à « Lyon-métro » par train

On peut ensuite élargir le potentiel d'imitation à toutes les OD déclarées réalisées en TC. Il peut donc s'agir, outre les utilisateurs potentiels d'un service ferré, d'actifs utilisant le car pour arriver à la zone métro, soit plus probablement se rabattant par un autre mode de transport sur une gare dans une commune voisine. La répartition modale des OD réalisées au moins une fois en TC (avec correspondance métro ou non) est la suivante (cf. Tableau 53).

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
13	39	227	5 893	3 461	9 632
0%	0%	2%	61%	36%	100%

Tableau 53 : Répartition modale des actifs du carré OL sur les OD reliées à « Lyon-métro » par TC

3.461 actifs se rendent en TC depuis le carré OL dans l'une des communes lyonnaises desservies par le métro. Ces OD éprouvées en TC sont parcourues en tout par 9.632 actifs dont 5.893 en véhicule. Si l'on reporte ces derniers sur les TC, on passerait globalement sur l'ensemble des actifs du carré OL de 8 à 17 % (cf. Tableau 54) doublant ainsi l'utilisation des TC, soit un transfert de 9 points de pourcentage.

Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
3 190	3 064	1 243	46 274	11 135	64 906
5%	5%	2%	71%	17%	100%

Tableau 54 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation sur les OD reliées à « Lyon-métro » par TC

De l'ensemble de ces simulations il résulte que

- le maximum qui pourrait être théoriquement atteint est une part modale de 20% (soit un transfert de 12 points), dans le cas de l'imitation maximale en intra-carré OL ;
- un scénario volontariste bas correspondrait à un objectif de transfert de 4 points (cas par exemple du transfert par imitation sur les communes reliées à « Lyon-métro » par le train) ;
- un scénario volontariste haut correspondrait à un objectif de transfert de 9 points (cas par exemple du transfert par imitation sur les OD reliées à « Lyon-métro » par le train le car, ou en rabattement sur une gare).

c) Boucles domicile-études pour les scolaires

Rappelons que pour les scolaires la source d'estimation statistique est l'EMD.

Pour les collégiens (entre 11 et 14 ans) :

La part initiale des TC dans les boucles des 11-14 ans à destination de l'établissement d'enseignement (a priori le collège) s'établit à 50% (cf. Tableau 55).

Mode principal	VPP	VPC	TC	Autre	MàP	Total
Nombre initial de boucles	38		58	2	18	116
%	33%	0%	50%	2%	16%	100%
Potentiel d'imitation	12		58		9	79
%	15%	0%	73%	0%	11%	100%
Résultat d'imitation	26		70	2	18	116
%	22%	0%	60%	2%	16%	100%

Tableau 55 : Répartition modale des boucles études des collégiens (carré OL)

79 boucles sont réalisées sur des OD où au moins un collégien utilise les TC, et ils sont d'ailleurs 58 à le faire. En transférant les autres boucles non réalisées à pied (soit 12 boucles en voiture-passager) on arrive à 70 boucles réalisables en TC, soit 60% de part modale. Le réalisé (50%) est donc assez proche du potentiel maximal. Nous fixons donc le scénario volontariste haut au niveau de ce potentiel, soit un transfert de 10 points, et le volontariste bas à la moitié, soit 5 points.

Pour les lycéens (entre 15 et 17 ans) :

La part initiale des TC dans les boucles des 15-17 ans à destination de l'établissement d'enseignement (a priori le lycée) s'établit à 58% (cf. Tableau 56).

Mode principal	VPP	VPC	TC	Autre	MàP	Total
Nombre initial de boucles	20	1	41	3	6	71
%	28%	1%	58%	4%	8%	100%
Potentiel d'imitation	3		41		4	48
%	6%	0%	85%	0%	8%	100%
Résultat d'imitation	17	1	44	3	6	71
%	24%	1%	62%	4%	8%	100%

Tableau 56 : Répartition modale des boucles études des lycéens (carré OL)

41 boucles sont réalisées sur des OD où au moins un collégien utilise les TC, et il s'agit d'ailleurs de la totalité des boucles sur ces OD. En transférant les autres boucles non réalisées à pied (soit 3 boucles en voiture-passager, on arrive à 44 boucles réalisables en TC, soit 62% de part modale. Le réalisé (58%) est donc très proche du potentiel maximal. Nous fixons donc le scénario volontariste haut au niveau de ce potentiel, soit un transfert de 4 points, et le volontariste bas à la moitié, soit 2 points.

3.1.5.4 Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales

	Part modale initiale	Potentiel maximum	Transfert maximum	Transfert volontariste haut	Transfert volontariste bas
Actifs boucles travail	8%	20%	12 points	9 points	4 points
Scolaires 11-14 ans boucles études	50%	60%	10 points	10 points	5 points
Scolaires 15-17 ans boucles études	58%	62%	4 points	4 points	2 points

Tableau 57 : Récapitulatif des scénarios TC pour le carré OL

Méthode pour modifier les parts modales :

Pour les TC, les modes concernés par une réallocation des boucles sont la voiture particulière en tant que conducteur ou passager et les modes « autres ». Nous supposons que les boucles en marche à pied ne sont pas concernées. La méthode consiste à réallouer les boucles réalisées par les modes concernés au prorata de leur part initiale dans le total des boucles concernées.

3.1.6 Résultats des simulations sur le carré OL

Nous testons tout d'abord le scénario fictif de relocalisation de toute la population (actuelle et nouvelle prévue en 2050) dans les quatre pôles du carré OL. Dans le cas du carré Ouest Lyonnais les 149.174 habitants de 2015 et les 45.976 supplémentaires prévus en 2050 (+31%), soit 195.150 habitants, seraient totalement localisés dans les 4 pôles que nous avons définis pour ce carré. Comme l'indique le Tableau 58 cela signifie une multiplication de la population de ces pôles par environ 7,5. Dans cette augmentation globale de population, la structure démographique évolue également : le nombre d'actifs n'augmente que de 25%, les différentes classes d'âge de moins de 30 ans de 20% environ, et la part des plus de 60 ans de 76%.

Les habitants relocalisés adoptant, selon notre hypothèse, les comportements moyens des habitants actuels de ces pôles, la variation de distance totale parcourue serait moindre (+21%) que la variation de population (+31%). L'augmentation des distances parcourues en voiture serait assez faible (+2% pour la voiture passager, +9% pour la voiture conducteur), tandis que les distances parcourues en transports collectifs augmenteraient de moitié et celles en marche à pied seraient multipliées par près de trois. In fine l'augmentation des émissions de CO₂, portée par la voiture et les transports collectifs, serait de 13%.

Scénarios	variation population			variation distance					variation CO ₂ totale
	totale	OL 4 pôles	OL hors pôles	totale	VPP	VPC	TC	MAP	
Population totale 2050 relocalisée dans les pôles	31%	647%	-100%	21%	2%	9%	48%	174%	13%

Tableau 58 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré OL

Nous testons ensuite les scénarios dans lesquels l'action sur les localisations ne joue que sur les populations nouvelles. Le Tableau 59 regroupe les résultats des simulations sur le carré OL, d'abord en isolant les mesures une à une puis en estimant les effets de certains paquets de mesures.

La colonne « Localisations » indique la localisation de la population en 2015 ou les deux configurations spatio-fonctionnelles « éparpillées » ou « polarisées ». Par exemple la « population éparpillée 2030 » correspond à la population *supplémentaire* projetée par Omphale dans le carré OL en 2030 (+15%) répartie entre les communes au prorata du poids démographique de celles-ci en

2015. Le même scénario en « polarités » affecte toute la population *supplémentaire* aux 4 pôles, d'où une augmentation de 87% de leur population.

La colonne « Emissions p-km » combine un scénario technologique (émissions des voitures particulières en 2030 ou 2050, contre émissions d'aujourd'hui dénommé « actuel ») et un scénario de covoiturage : « actuel » correspond aux taux de remplissage aujourd'hui, « bas » et « haut » correspondent aux scénarios volontaristes respectifs de covoiturage.

La colonne « parts modales » oppose aux parts actuelles le résultat du scénario volontariste TC « bas » ou « haut » ou du scénario volontariste vélo-VAE « bas » ou « haut ».

Enfin, les colonnes suivantes indiquent les variations relatives, par rapport à 2015, de la population au total, dans les 4 pôles et hors pôles, les variations de distance (en passager-km) au total et par mode principal de déplacement, ainsi que la variation totale de CO2 émis par la mobilité des résidents du carré OL.

Scénarios	Emissions p-km	Parts modales	variation population			variation distance			TC	MAP/VAE	variation CO2 totale
			totale	OL 4 pôles	OL hors pôles	totale	VPP	VPC			
Localisations	Actuel et Covoit actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Population Eparpillée 2030	Actuel et Covoit actuel	Actuel	15%	15%	15%	13%	13%	13%	12%	14%	13%
Population Polarités 2030	Actuel et Covoit actuel	Actuel	15%	87%	0%	13%	10%	12%	14%	32%	12%
Population Eparpillée 2050	Actuel et Covoit actuel	Actuel	31%	31%	31%	27%	26%	27%	25%	29%	27%
Population Polarités 2050	Actuel et Covoit actuel	Actuel	31%	176%	0%	26%	21%	23%	28%	65%	23%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	TC volontariste bas	0%	0%	0%	0%	-2%	-3%	17%	0%	-2%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	TC volontariste haut	0%	0%	0%	0%	-5%	-7%	37%	0%	-4%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	vélo-VAE volontariste bas	0%	0%	0%	0%	-18%	-18%	-18%	60%	-17%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	vélo-VAE volontariste haut	0%	0%	0%	0%	-36%	-35%	-35%	119%	-35%
Population 2015	Actuel et Covoit bas	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-6%
Population 2015	Actuel et Covoit haut	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%
Population 2015	VP 2030 et Covoit actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-30%
Population 2015	VP 2050 et Covoit actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-62%
Population 2015	VP 2030 et Covoit bas	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-34%
Population 2015	VP 2050 et Covoit haut	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-66%
Population Eparpillée 2030	VP 2030 et Covoit actuel	Actuel	15%	15%	15%	13%	13%	13%	12%	14%	-21%
Population Eparpillée 2030	VP 2030 et Covoit bas	vélo-VAE volontariste bas	15%	15%	15%	13%	-8%	-7%	-7%	82%	-39%
Population Polarités 2030	VP 2030 et Covoit bas	vélo-VAE volontariste bas	15%	87%	0%	13%	-10%	-8%	-6%	100%	-39%
Population Eparpillée 2050	VP 2050 et Covoit actuel	Actuel	31%	31%	31%	27%	26%	27%	25%	29%	-52%
Population Eparpillée 2050	VP 2050 et Covoit haut	vélo-VAE volontariste haut	31%	31%	31%	27%	-19%	-17%	-19%	183%	-72%
Population Polarités 2050	VP 2050 et Covoit haut	vélo-VAE volontariste haut	31%	176%	0%	26%	-24%	-22%	-18%	218%	-73%

Tableau 59 : Résultats des simulations sur le carré OL

Les premières lignes du tableau permettent de vérifier l'effet propre de l'augmentation de population, 15% en 2030 et 31% en 2050. Puisque la projection se fait à comportements constants on devrait trouver des variations de distance totale équivalentes pour le cas de la population éparpillée en 2050, alors que l'on trouve respectivement 13% et 27%. Ces chiffres résultent de la décomposition des comportements de mobilité par catégories socio-démographiques et motifs (actifs, scolaires, etc.). Or les projections Omphale que nous appliquons montrent des augmentations différenciées de ces catégories avec notamment une forte augmentation des plus de 60 ans (+ 38% en 2030, +76% en 2050).

Une première question est celle d'une amélioration éventuelle quand on passe d'un scénario « éparpillement » à un scénario « polarités » : on voit qu'en 2030 la variation de distance parcourue au total est quasi identique (12% contre 13%), mais elle s'accompagne d'un remplacement partiel de la voiture particulière comme passager (10% contre 13%) au profit de la marche à pied (32% contre 14%). L'effet sur les émissions de CO2 est toutefois marginal voire non significatif (12% contre 13%). En 2050 l'effet sur la distance totale est faible, voire non significatif (26% contre 27%). Cependant, l'effet de redistribution sur la marche à pied est plus fort (65% contre 29% d'augmentation des distances parcourues), et l'effet sur la variation d'émission de CO2 moins marginal (23% contre 27%).

Nous testons ensuite l'effet des scénarios volontaristes TC en maintenant la population constante en 2015. On voit que l'effet sur les émissions de CO2 des scénarios bas (-2%) et haut (-4%) est marginal, voire dans la marge d'erreur, bien que l'augmentation de la distance parcourue en TC soit en apparence significative (respectivement 17% et 37%). Mais on part d'assez bas pour les TC et la diminution des kilomètres parcourus en voiture particulière (passager et conducteur) est de 2 à 7% seulement.

L'effet des scénarios vélo-VAE est plus net. A population constante, le scénario bas induit une baisse de 17% des émissions de CO2 et le scénario haut une baisse de 35%. Ces baisses correspondent à des évolutions similaires des distances parcourues en voiture particulière (passager ou conducteur) et en transports collectifs, ce qui découle de notre mécanisme de réallocation des parts modales, et une augmentation nette du mode MAP+vélo (+60% et +119%).

L'effet des scénarios de covoiturage est également assez net. A population constante, le scénario de covoiturage bas induit une baisse de 6% des émissions de CO2 et le scénario haut une baisse de 14%. Ces baisses s'effectuent à mobilité constante sans réallocation des parts modales et ont le même effet qu'un scénario technologique d'émissions.

Enfin, ces scénarios technologiques d'émissions sont ceux qui ont de loin le plus d'effet sur les émissions de CO2 : -30% dans l'hypothèse de la voiture « 2030 » et -62% dans l'hypothèse de la voiture « 2050 ».

Au passage, nous notons que la combinaison du covoiturage avec les scénarios technologiques d'émissions montre que les effets ne sont pas strictement additifs. Par exemple, la combinaison VP 2030 et covoiturage bas induit une baisse de 34% des émissions de CO2 alors que VP 2030 isolément induit une réduction de 30% et « covoiturage bas » isolément 6%. Il en est de même pour la combinaison VP 2050 et « covoiturage haut ». En effet, l'effet propre du covoiturage (réduction des émissions par passager-km) s'amointrit quand les émissions par véhicules-kilomètres se réduisent elles-mêmes.

On peut se poser la question de savoir si l'évolution technologique prévisible des véhicules suffirait à atteindre les objectifs SNBC, sans avoir à mettre en œuvre des mesures comme la « localisation forcée » (polarités vs éparpillement) ou des changements de comportements de mobilité plus ou

moins coûteux (socialement et financièrement). En projetant à la fois la population nouvelle en 2030 « éparpillée » et la seule évolution technologique des véhicules, la réduction des émissions de CO2 est de 21%. Pour 2050 la réduction est de 52%. Ces performances sont donc insuffisantes.

Par la suite, nous testons des paquets de mesures qui seraient susceptibles d'atteindre les objectifs SNBC, compte tenu de l'augmentation prévisible de population. Les possibilités de combinaison sont nombreuses, mais compte tenu de l'inertie des comportements et du délai nécessaire à la mise en œuvre des mesures envisagées nous pouvons considérer que les scénarios « bas » relèvent de l'horizon 2030 et les scénarios « haut » de l'horizon 2050.

Dans le scénario où la population nouvelle d'ici à 2030 est « éparpillée » avec toutes les mesures actives, véhicule VP 2030, covoiturage volontariste « bas » et vélo-VAE volontariste « bas », la variation de CO2 résultante est de -39%. Le cas où la population serait polarisée n'induit aucune différence sur les émissions de CO2.

Dans le scénario où la population nouvelle d'ici à 2050 est « éparpillée » avec toutes les mesures actives, véhicule VP 2050, covoiturage volontariste « haut » et vélo-VAE volontariste « haut », la variation de CO2 résultante est de -72%.

3.1.7 Conclusion : les enjeux pour le périurbain lyonnais

Les simulations montrent que l'on peut arriver en 2030 et en 2050 à se conformer aux objectifs de la SNBC si sont mises en œuvre des politiques volontaristes pour le covoiturage et le vélo, en accompagnement de l'évolution technologique anticipée des moteurs.

Par ailleurs, l'effet différencié des localisations résidentielles (polarités vs éparpillement) semble très marginal, dans le carré périurbain, du point de vue des indicateurs environnementaux liés à la mobilité. Mais il a un impact certain dans la redistribution des distances parcourues en faveur de la marche à pied (et d'autres modes de proximité comme le vélo dans un scénario volontariste vélo-VAE), ce qui n'est pas sans conséquence sur la qualité de vie des personnes concernées. On peut en outre conjecturer qu'un effort soutenu vers la « polarité » résidentielle produirait des effets plus marqués à plus long terme (au-delà de 2050).

Toutefois, il faut souligner une incertitude (qui s'ajoute aux autres !) dans le cadre de notre postulat de mobilité maintenue, à savoir l'incertitude sur l'évolution des distances parcourues. Une croissance de celles-ci, comme on a pu l'observer dans le passé à certaines périodes de croissance économique, pourrait rendre plus difficile l'atteinte des objectifs de la SNBC, surtout si l'embellie économique actuelle se confirme.

Malgré tout, l'efficacité des mesures envisagées suggère que leur mise en œuvre permettrait d'avancer dans la bonne direction. Mais l'évaluation du coût économique et social de ces mesures est une équation difficile.

3.2 Simulations sur le carré Métropolitain Lyonnais

Le Tableau 60 ci-après donne les projections Omphale pour le carré Métropolitain Lyonnais.

	2013	2015	2030	2045	2050	variation / 2015			
						2015	2030	2045	2050
Actifs	741 226	756 686	833 138	896 545	907 305	0%	10%	18%	20%
Ménages	669 326	684 826	767 083	837 040	856 010	0%	12%	22%	25%
Population	1 518 937	1 541 170	1 698 116	1 825 364	1 859 435	0%	10%	18%	21%
[00-04]	102 907	104 338	110 629	120 570	120 009	0%	6%	16%	15%
[05-10]	112 525	116 377	127 051	136 037	139 002	0%	9%	17%	19%
[11-14]	70 750	71 035	82 155	86 135	89 065	0%	16%	21%	25%
[15-17]	53 113	54 201	61 957	64 023	65 896	0%	14%	18%	22%
[18-30]	314 524	317 401	342 128	350 690	351 364	0%	8%	10%	11%
[31-45]	305 028	307 326	330 563	355 464	359 293	0%	8%	16%	17%
[46-60]	266 107	268 730	281 575	297 750	302 138	0%	5%	11%	12%
[61-99]	293 983	301 762	362 058	414 695	432 668	0%	20%	37%	43%

Tableau 60 : Projections Omphale sur le carré Métropolitain Lyonnais

Les projections Omphale nécessitent un territoire d'au moins 50.000 habitants, ce qui fait qu'il n'est pas possible d'avoir, à l'intérieur du carré Métropolitain Lyonnais, une projection séparée pour les 5 pôles. Nous prenons les données de la population et des actifs issus du RGP 2013 (pour lequel nous pouvons calculer la répartition entre les différentes zones et les 5 pôles) et leur appliquons la croissance estimée par Omphale entre 2013 et 2015. Cela nous permet de ventiler notre population entre les différentes zones et les 5 pôles. Nous appliquons ensuite à chacune de ces zones et pour chaque catégorie de population les projections de croissance en pourcentage issues de Omphale pour le carré métropolitain dans sa globalité aux horizons 2030 et 2050 (cf. Tableau 61).

2015	LV1	LV2	5 pôles	Reste Z3	Total		2015	LV1	LV2	5 pôles	Reste Z3	Total	
Population	950 338	287 512	75 386	227 939	1 541 174		Population	62%	19%	5%	15%	100%	
Actifs	474 933	132 547	34 000	113 128	754 608		Actifs	63%	18%	5%	15%	100%	
[05-10]	71 762	21 711	5 693	17 212	116 377		[05-10]	62%	19%	5%	15%	100%	
[11-14]	43 802	13 252	3 475	10 506	71 035		[11-14]	62%	19%	5%	15%	100%	
[15-17]	33 422	10 111	2 651	8 016	54 201		[15-17]	62%	19%	5%	15%	100%	
Eparpillement 2030							Eparpillement 2050						
Population	1 047 116	316 791	83 062	251 152	1 698 120		Population	1 146 591	346 885	90 953	275 011	1 859 440	
Actifs	522 918	145 939	37 436	124 558	830 851		Actifs	569 468	158 931	40 768	135 646	904 814	
[05-10]	78 344	23 702	6 215	18 791	127 051		[05-10]	85 713	25 931	6 799	20 558	139 002	
[11-14]	50 659	15 326	4 019	12 151	82 155		[11-14]	54 920	16 615	4 357	13 173	89 065	
[15-17]	38 205	11 558	3 031	9 163	61 957		[15-17]	40 634	12 293	3 223	9 746	65 896	
2030-2015							2050-2015						
Population	10%	10%	10%	10%	10%		Population	21%	21%	21%	21%	21%	
Actifs	10%	10%	10%	10%	10%		Actifs	20%	20%	20%	20%	20%	
[05-10]	9%	9%	9%	9%	9%		[05-10]	19%	19%	19%	19%	19%	
[11-14]	16%	16%	16%	16%	16%		[11-14]	25%	25%	25%	25%	25%	
[15-17]	14%	14%	14%	14%	14%		[15-17]	22%	22%	22%	22%	22%	
Eparpillement 2030		sauf LV1					Eparpillement 2050		sauf LV1				
Population	950 338	363 885	95 410	288 488	1 698 120		Population	950 338	442 386	115 993	350 723	1 859 440	
Actifs	474 933	168 681	43 269	143 968	830 851		Actifs	474 933	203 734	52 261	173 886	904 814	
[05-10]	71 762	26 905	7 054	21 330	127 051		[05-10]	71 762	32 720	8 579	25 941	139 002	
[11-14]	43 802	18 663	4 893	14 796	82 155		[11-14]	43 802	22 026	5 775	17 462	89 065	
[15-17]	33 422	13 886	3 641	11 009	61 957		[15-17]	33 422	15 802	4 143	12 528	65 896	
2030-2015							2050-2015						
Population	0%	27%	27%	27%	10%		Population	0%	54%	54%	54%	21%	
Actifs	0%	27%	27%	27%	10%		Actifs	0%	54%	54%	54%	20%	
[05-10]	0%	24%	24%	24%	9%		[05-10]	0%	51%	51%	51%	19%	
[11-14]	0%	41%	41%	41%	16%		[11-14]	0%	66%	66%	66%	25%	
[15-17]	0%	37%	37%	37%	14%		[15-17]	0%	56%	56%	56%	22%	
Polarités 2030		sur LV1					Polarités 2050		sur LV1				
Population	1 107 284	287 512	75 386	227 939	1 698 120		Population	1 268 603	287 512	75 386	227 939	1 859 440	
Actifs	551 175	132 547	34 000	113 128	830 851		Actifs	625 138	132 547	34 000	113 128	904 814	
[05-10]	82 436	21 711	5 693	17 212	127 051		[05-10]	94 387	21 711	5 693	17 212	139 002	
[11-14]	54 922	13 252	3 475	10 506	82 155		[11-14]	61 832	13 252	3 475	10 506	89 065	
[15-17]	41 178	10 111	2 651	8 016	61 957		[15-17]	45 117	10 111	2 651	8 016	65 896	
2030-2015							2050-2015						
Population	17%	0%	0%	0%	10%		Population	33%	0%	0%	0%	21%	
Actifs	16%	0%	0%	0%	10%		Actifs	32%	0%	0%	0%	20%	
[05-10]	15%	0%	0%	0%	9%		[05-10]	32%	0%	0%	0%	19%	
[11-14]	25%	0%	0%	0%	16%		[11-14]	41%	0%	0%	0%	25%	
[15-17]	23%	0%	0%	0%	14%		[15-17]	35%	0%	0%	0%	22%	

Polarités 2030		sur LV2				Polarités 2050		sur LV2			
Population	950 338	444 458	75 386	227 939	1 698 120	Population	950 338	605 777	75 386	227 939	1 859 440
Actifs	474 933	208 789	34 000	113 128	830 851	Actifs	474 933	282 753	34 000	113 128	904 814
[05-10]	71 762	32 385	5 693	17 212	127 051	[05-10]	71 762	44 336	5 693	17 212	139 002
[11-14]	43 802	24 372	3 475	10 506	82 155	[11-14]	43 802	31 282	3 475	10 506	89 065
[15-17]	33 422	17 867	2 651	8 016	61 957	[15-17]	33 422	21 806	2 651	8 016	65 896
2030-2015						2050-2015					
Population	0%	55%	0%	0%	10%	Population	0%	111%	0%	0%	21%
Actifs	0%	58%	0%	0%	10%	Actifs	0%	113%	0%	0%	20%
[05-10]	0%	49%	0%	0%	9%	[05-10]	0%	104%	0%	0%	19%
[11-14]	0%	84%	0%	0%	16%	[11-14]	0%	136%	0%	0%	25%
[15-17]	0%	77%	0%	0%	14%	[15-17]	0%	116%	0%	0%	22%
Polarités 2030		sur les 5 pôles				Polarités 2050		sur les 5 pôles			
Population	950 338	287 512	232 332	227 939	1 698 120	Population	950 338	287 512	393 651	227 939	1 859 440
Actifs	474 933	132 547	110 242	113 128	830 851	Actifs	474 933	132 547	184 206	113 128	904 814
[05-10]	71 762	21 711	16 367	17 212	127 051	[05-10]	71 762	21 711	28 318	17 212	139 002
[11-14]	43 802	13 252	14 595	10 506	82 155	[11-14]	43 802	13 252	21 505	10 506	89 065
[15-17]	33 422	10 111	10 407	8 016	61 957	[15-17]	33 422	10 111	14 346	8 016	65 896
2030-2015						2050-2015					
Population	0%	0%	208%	0%	10%	Population	0%	0%	422%	0%	21%
Actifs	0%	0%	224%	0%	10%	Actifs	0%	0%	442%	0%	20%
[05-10]	0%	0%	188%	0%	9%	[05-10]	0%	0%	397%	0%	19%
[11-14]	0%	0%	320%	0%	16%	[11-14]	0%	0%	519%	0%	25%
[15-17]	0%	0%	293%	0%	14%	[15-17]	0%	0%	441%	0%	22%

Tableau 61 : Projections de population dans le carré Métropolitain Lyonnais selon les configurations spatio-fonctionnelles

3.2.1 Description des mobilités dans le carré CM

3.2.1.1 La mobilité des actifs pour le travail

Les actifs du carré CM effectuent en moyenne 0,81 boucles par jour pour le travail. Ces boucles sont effectuées à 57% en voiture particulière comme conducteur, 24% en transports collectifs et 9% en marche à pied. Elles ont une portée moyenne (distance aller au lieu de travail) de 16,7 km.

3.2.1.2 Les « primaires » (5-10 ans)

Les primaires effectuent en moyenne 1,13 boucles par jour pour aller à l'école. Ces boucles sont effectuées à 39% en voiture particulière (passager) et 57% en marche à pied. Elles ont une portée moyenne de 4,8 km.

3.2.1.3 Les « collégiens » (11-14 ans)

Les collégiens effectuent en moyenne 1,15 boucles par jour pour aller au collège. Ces boucles sont effectuées à 32% en transports collectifs, 21% en voiture particulière (passager) et 45% en marche à pied. Elles ont une portée moyenne de 5,8 km.

3.2.1.4 Les « lycéens » (15-17 ans)

Les lycéens effectuent en moyenne 1,05 boucles par jour pour aller au lycée. Ces boucles sont effectuées à 62% en transports collectifs, 13% en voiture particulière (passager) et 23% en marche à pied. Elles ont une portée moyenne de 9,2 km.

3.2.1.5 Les autres motifs

Pour les motifs autres qu'aller au travail ou en établissement scolaire, la population du carré métropolitain effectue en moyenne 0,71 boucle par jour. Ces boucles sont effectuées à 36% en voiture particulière (conducteur), 38% en marche à pied et 12% en voiture particulière (passager) ainsi qu'en transports collectifs. Elles ont une portée moyenne de 7,8 km.

Ces comportements de mobilité (parts modales et distances moyennes) différents selon les catégories socio-démographiques justifient a posteriori un tel découpage. Par ailleurs les parts modales et les distances parcourues diffèrent significativement quand on croise ces catégories avec le zonage en trois zones (LV1, LV2, reste du CM) comme l'indiquent les tableaux suivants.

Comme l'indique le Tableau 62, la part modale de la voiture particulière en tant que conducteur varie de 25% à 56% selon les trois zones de résidence (origines des boucles), celle des transports collectifs de 26% à 8%, celle de la marche à pied de 37% à 16%.

Pop_TMot_VPP	Z1.LV1	Z2.LV2	Z3.Poles	Z3.Reste	Z4	Total
Z1-LV1	8%	14%	17%	10%	14%	9%
Z2-LV2	15%	16%	15%	19%	15%	16%
Z3-Poles	9%	20%	17%	28%	16%	17%
Z3-Reste	13%	19%	21%	19%	21%	18%
Total	9%	16%	17%	19%	17%	12%
Pop_TMot_VPC	Z1.LV1	Z2.LV2	Z3.Poles	Z3.Reste	Z4	Total
Z1-LV1	20%	65%	67%	84%	69%	25%
Z2-LV2	52%	36%	70%	74%	78%	45%
Z3-Poles	51%	67%	34%	65%	73%	45%
Z3-Reste	63%	73%	71%	47%	68%	56%
Total	25%	47%	47%	53%	71%	35%
Pop_TMot_TC	Z1.LV1	Z2.LV2	Z3.Poles	Z3.Reste	Z4	Total
Z1-LV1	27%	17%	16%	5%	15%	26%
Z2-LV2	31%	6%	11%	4%	5%	14%
Z3-Poles	37%	11%	5%	4%	8%	10%
Z3-Reste	23%	6%	6%	3%	8%	8%
Total	27%	9%	6%	3%	10%	20%
Pop_TMot_MAP	Z1.LV1	Z2.LV2	Z3.Poles	Z3.Reste	Z4	Total
Z1-LV1	41%	2%	%	%	%	37%
Z2-LV2	1%	39%	2%	2%	%	24%
Z3-Poles	%	2%	43%	2%	2%	27%
Z3-Reste	%	2%	1%	30%	2%	16%
Total	35%	26%	28%	24%	1%	31%

Tableau 62 : Parts modales (boucles), population totale, tous motifs (carré CM, source EMD Lyon 2015)

Règle de lecture : la part modale de la voiture comme passager (VPP) est de 8% pour les boucles émises depuis un domicile dans LV1 vers une destination principale en LV1 ; la part modale de la voiture comme passager (VPP) pour toutes les boucles émises depuis LV1 est de 9%.

Pop_TMot_TMd	Z1.LV1	Z2.LV2	Z3.Poles	Z3.Reste	Z4	Total
Z1-LV1	6.2	15.7	25.8	28.0	50.8	8.1
Z2-LV2	15.6	6.9	19.8	17.7	43.4	11.4
Z3-Poles	29.8	19.5	6.1	13.9	31.7	12.7
Z3-Reste	29.0	19.1	13.6	7.1	24.5	14.7
Total	8.3	10.4	10.3	10.2	36.6	10.0

Tableau 63 : Moyenne des kilomètres parcourus par boucle, population totale, tous modes, tous motifs (carré CM, source EMD Lyon 2015)

Règle de lecture : la distance moyenne totale parcourue (à vol d'oiseau) des boucles émises depuis un domicile dans LV1 vers une destination principale en LV1 est de 6,2 km ; la distance moyenne totale parcourue pour toutes les boucles émises depuis LV1 est de 8,1 km.

3.2.2 Application des scénarios de mobilité

L'analyse précédente permet de spécifier par catégories de boucles – groupe sociodémographique x motif – les scénarios (ou leviers comportementaux) de mobilité qui sont appliqués (cf. Tableau 64).

Catégories de boucles	Technologie 2030 et 2050	Covoiturage	Vélo-VAE	TC
Act x Trav	x	x	x	x
Scol x Scol	(sur VPP et TC)			
- Sc05	x	n.a.	x	n.a.
- Sc11	x	n.a.	x	x
- Sc15	x	n.a.	x	x
Tot x NoTravNoScol	x	n.a.	x	n.a.

Tableau 64 : Scénarios de technologie et de mobilité appliqués par catégorie de boucles (carré CM)

Les scénarios technologiques d'émission (pour la voiture particulière et les transports collectifs) sont applicables à toutes les catégories de boucles, les actifs pour le travail et les motifs autres que travail bien sûr mais aussi toutes les catégories scolaires, étant donné la part importante de l'accompagnement en voiture.

On considère a priori que les scénarios de covoiturage n'ont de potentiel d'économie de véhicules-kilomètres que pour les boucles des actifs liées au travail, étant donné les distances parcourues (17 km en moyenne) et le faible taux de remplissage actuel (1,08). Le potentiel est bien moindre sur la mobilité des écoliers en primaire qui reste largement locale tandis que la question de la réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les collégiens et les lycéens est traitée en priorité par un transfert potentiel sur les transports collectifs. Nous laissons de côté les boucles pour les autres motifs (achats et autres) réalisées en voiture particulière, qui se caractérisent déjà par un taux de remplissage moyen élevé (1,5), bien qu'il puisse y avoir des enjeux certains (portée moyenne de 8 km) : mais ce type de mobilité – irrégulière – nécessiterait des politiques de covoiturage (par exemple du type « autostop 2.0 ») difficiles à évaluer ex ante.

Les scénarios de vélo (impliquant le vélo à assistance électrique) concernent a priori, comme argumenté ci-après, toutes les catégories de boucles.

Les scénarios de transports collectifs ne sont appliqués qu'aux boucles liées au travail et aux boucles scolaires des collégiens et lycéens. Les transports collectifs n'ont pas de pertinence a priori pour la mobilité de proximité des primaires. Pour les autres motifs, la part des TC s'élève à 12% ce qui n'est pas négligeable mais attendu dans le carré métropolitain. Comme nous le verrons par la suite sur d'autres motifs comme le domicile-travail notamment, le potentiel maximum de transfert est assez élevé. Néanmoins les coûts de développement de l'offre qui en découleraient sont également très élevés, ce qui nous amène à écarter a priori l'exercice de simulation sur ces motifs non obligés.

3.2.3 Estimation du covoiturage pour le carré métropolitain lyonnais

Quel est le potentiel du covoiturage à partir des données des navettes domicile-travail ?

Le périmètre retenu est celui des communes du Carré Métropolitain Lyonnais.

Le graphique suivant compare les parts des distances et des navettes origine-destination (OD) potentielles selon un seuil (en abscisse) de nombre brut d'OD communes. Les courbes sont affichées d'une part pour les données brutes, d'autre part pour les données redressées.

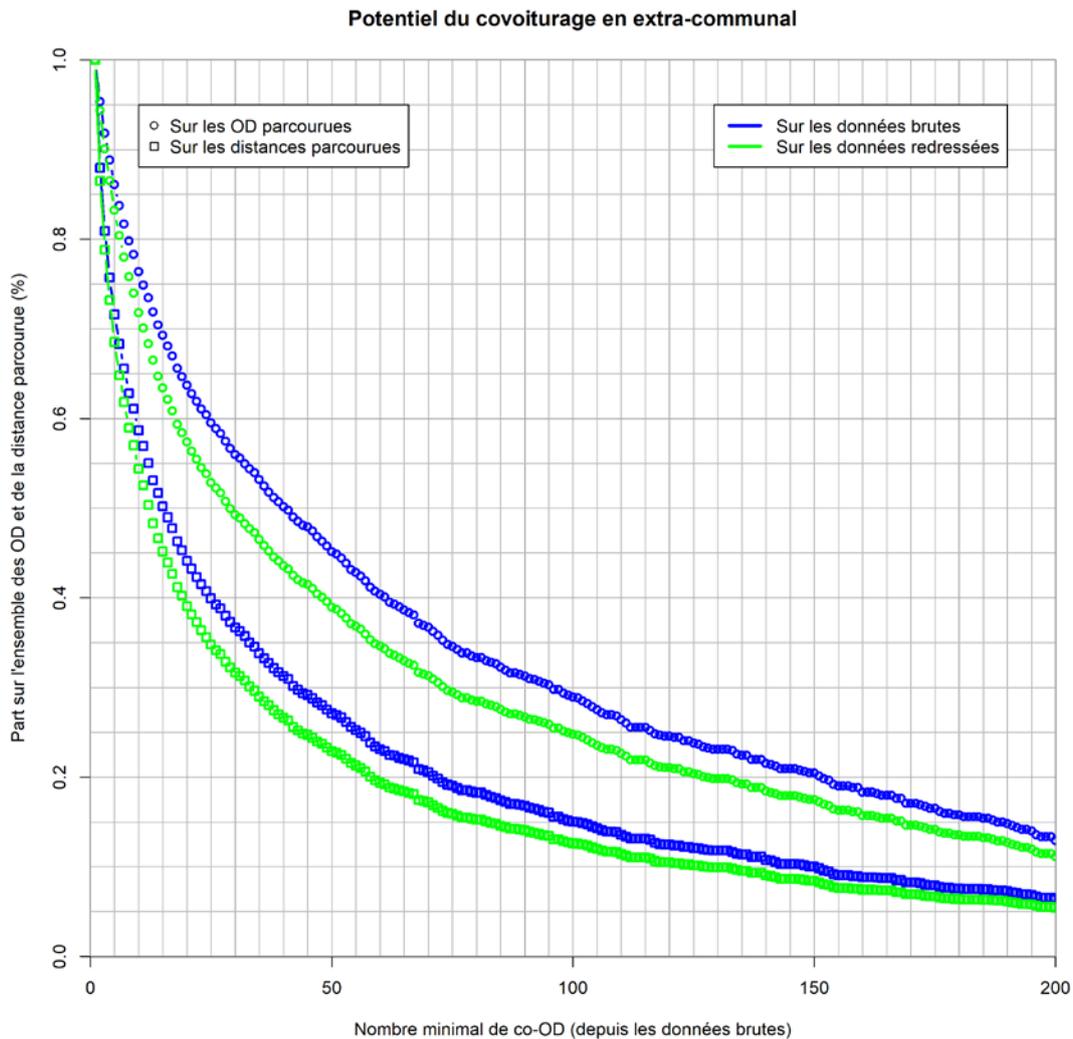


Figure 11 : Parts des navettes domicile-travail et des distances en fonction du nombre d'OD communes (données brutes et données redressées) sur le carré métropolitain lyonnais

Le graphique se lit ainsi : les origines-destinations communes à au moins 50 individus représentent de 25% à 30% des kilomètres totaux et 45 % des actifs du carré (sur données brutes).

Les tableaux ci-dessous exposent quelques résultats. Le potentiel maximal de réduction s'obtient en supposant que 100% des navetteurs potentiels changent et que les arrangements sont au maximum, soit 4 occupants par voiture. Ce potentiel maximal de réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les navettes domicile-travail s'établit donc à plus de 50% avec un taux de remplissage moyen de 2,2.

Données					
Seuil nb navettes communes	5	10	15	50	100
% de navetteurs potentiels	85%	75%	70%	45%	30%
% distance potentielle	70%	55%	50%	25%	15%
Nb de personnes par voiture (avant)	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Paramètres					
% de navetteurs potentiels qui changent	100%	100%	100%	100%	100%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4	4	4
Résultats					
% v-km économisés	51%	40%	37%	18%	11%
Taux remplissage moyen	2.21	1.80	1.70	1.32	1.21

Tableau 65 : Résultats de simulation du potentiel maximal de covoiturage (carré CM)

Nous prenons pour hypothèse que 50% des covoitureurs potentiels passent au covoiturage, c'est-à-dire qu'ils surmontent des difficultés organisationnelles (s'accorder sur l'heure de départ de la navette) et d'autres barrières éventuelles (exemple, accepter de partager un véhicule avec des inconnus). Par ailleurs, le nombre de personnes par « co-voiture » va être variable selon la taille des groupes appariables : nous le fixons à 2 quand les groupes sont de cinq personnes et plus, à 3 pour les groupes de 10 personnes et plus, et fixons son maximum à 4 au-delà pour des raisons de confort dans un véhicule léger. L'effet de ce dernier paramètre est pondéré par le pourcentage de distance potentielle et le pourcentage de navetteurs qui passent effectivement au covoiturage.

Seuil nb navettes communes	5	10	15	50	100
Paramètres					
% de navetteurs potentiels qui changent	50%	50%	50%	50%	50%
Nb de personnes par co-voiture	2	3	4	4	4
Résultats					
% v-km économisés	16%	18%	18%	9%	5%
Taux remplissage moyen	1.29	1.31	1.32	1.19	1.14

Tableau 66 : Résultats de simulation du covoiturage (carré CM)

On voit qu'avec ces hypothèses, le pourcentage de véhicules-kilomètres économisés varie entre 5% et 18%, le taux de remplissage variant entre 1,1 et 1,3.

Supposons qu'une politique vigoureuse et effective en faveur du covoiturage aboutisse à faire basculer 80% des navetteurs potentiels vers le covoiturage. Le Tableau 30 ci-après montre que l'on arrive à un maximum de 29% de véhicules-kilomètres économisés et un taux de remplissage de 1,5.

Seuil nb navettes communes	5	10	15	50	100
Paramètres					
% de navetteurs potentiels qui changent	80%	80%	80%	80%	80%
Nb de personnes par co-voiture	2	3	4	4	4
Résultats					
% v-km économisés	26%	28%	29%	15%	9%
Taux remplissage moyen	1.45	1.50	1.53	1.26	1.18

Tableau 67 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement maximal (carré CM)

Supposons qu'une politique également vigoureuse et effective aboutisse à un arrangement maximal pour remplir les voitures, soit 4 personnes par voiture pour ceux qui basculent vers le covoiturage. Le Tableau 31 ci-après montre qu'on arrive à une économie maximale de 26% de véhicules-kilomètres et un taux de remplissage proche de 1,5.

Seuil nb navettes communes	5	10	15	50	100
Paramètres					
% de navetteurs potentiels qui changent	50%	50%	50%	50%	50%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4	4	4
Résultats					
% v-km économisés	26%	20%	18%	9%	5%
Taux remplissage moyen	1.45	1.35	1.32	1.19	1.14

Tableau 68 : Résultats de simulation du covoiturage avec arrangement maximal (carré CM)

En cumulant ces deux effets, de manière très volontariste, le pourcentage de véhicules-kilomètres économisés pourrait monter à plus de 40% (cf. Tableau 32) avec un taux de remplissage de 1,8.

Seuil nb navettes communes	5	10	15	50	100
Paramètres					
% de navetteurs potentiels qui changent	80%	80%	80%	80%	80%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4	4	4
Résultats					
% v-km économisés	41%	32%	29%	15%	9%
Taux remplissage moyen	1.83	1.59	1.53	1.26	1.18

Tableau 69 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement et arrangement maximaux (carré CM)

En résumé, le potentiel maximal de réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les navettes domicile-travail s'établit à plus de 50% avec un taux de remplissage moyen de 2,2. Compte tenu des incertitudes liées principalement aux hypothèses sur les comportements, on peut retenir en ordre de grandeur dans un scénario « volontariste bas » un taux de remplissage moyen de 1,3 sur les boucles domicile-travail (avec près de 20% de véhicules-kilomètres économisés) et dans un scénario « volontariste haut » un taux de remplissage moyen de 1,8 sur les boucles domicile-travail (avec environ 40% de véhicules-kilomètres économisés).

3.2.4 Potentiels de part modale en vélo-VAE dans le carré CM

Nous déclinons l'estimation de ces potentiels par groupe socio-démographique et par motif, en nous fondant sur les données d'enquête de l'EMD Lyon 2015, notamment les statistiques de distances à vol d'oiseau données dans les tableaux suivants.

3.2.4.1 Les actifs pour aller au travail :

Statistiques	km
min	1.2
C10	3.8
C25	6.2
median	11.9
mean	16.7
C75	21.8
C90	35.1
max	157.4

Tableau 70 : Statistiques de distances des boucles pour le travail (carré CM)

En retenant le seuil de 15 km en distance effective, nous pouvons inclure 50% des boucles (12 km à vol d'oiseau ou encore 15 km en distance effective), part de laquelle nous déduisons 9% réalisées en marche à pied. Nous supposons que si des déplacements pour accompagnement ou pour achats sont réalisés à l'intérieur de ces boucles, ceux-ci peuvent être faits en vélo (VAE), moyennant un équipement adhoc (nacelle, carriole, etc.) ou sont alloués à un autre membre du foyer. Le potentiel s'établit donc à 41% des boucles travail. Nous retenons comme scénario volontariste haut une part de 40% et comme scénario volontariste bas, la moitié soit 20% des boucles.

3.2.4.2 Les 5-10 ans pour aller à l'école

Statistiques	km
min	1.2
C10	2.3
C25	2.9
median	3.9
mean	4.8
C75	5.2
C90	8.2
max	59.6

Tableau 71 : Statistiques de distances des boucles pour l'école primaire (carré CM)

Rappelons que nous postulons un usage du VAE réservé aux 10 ans et plus. Donc pour les « primaires » nous nous restreignons au vélo classique, soit un déplacement d'une distance effective raisonnable de 3 km au maximum pour ces écoliers (éventuellement accompagnés selon le degré de sécurité offert par le réseau cyclable), soit une boucle d'un maximum de 6 km. Cela correspond au 3^{ème} quartile à vol d'oiseau. Il faut cependant déduire les 57% de boucles effectuées en marche à pied, ce qui donne un potentiel de 18% de boucles pour le vélo. Nous retenons cette même valeur pour le scénario volontariste haut, et la moitié soit 9% pour le scénario volontariste bas.

3.2.4.3 Les 11-14 ans pour aller au collège

Statistiques	km
min	1.2
C10	2.5
C25	3.1
median	4.1
mean	5.8
C75	6.6
C90	11.3
max	66.0

Tableau 72 : Statistiques de distances des boucles pour le collège (carré CM)

Nous retenons là encore une valeur raisonnable en sélectionnant le 3^{ème} quartile à 6,6 km (soit une portée des déplacements de 3 km à vol d'oiseau ou encore de 4 km en distance effective). De ces 75% de boucles il faut déduire les 45% effectués en marche à pied. Soit un potentiel de 30% des boucles, que nous assimilons également au scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 15% des boucles.

3.2.4.4 Les 15-17 ans pour aller au lycée

Statistiques	km
min	1.5
C10	2.5
C25	3.9
median	6.0
mean	9.2
C75	11.7
C90	19.4
max	87.2

Tableau 73 : Statistiques de distances des boucles pour le lycée (carré CM)

Là encore nous retenons le 3^{ème} quartile (11,7 km) soit une portée de déplacement de 6 km à vol d'oiseau ou encore de 7,5 km en distance effective, seuil raisonnable pour les lycéens. De ces 75% il faut déduire les 23% de boucles réalisées en marche à pied, ce qui donne un potentiel de 52% des boucles, auquel on identifie le scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 26% des boucles.

3.2.4.5 Le reste de la population

Statistiques	km
min	1.2
C10	2.5
C25	3.2
median	4.8
mean	8.4
C75	9.3
C90	17.9
max	123.4

Tableau 74 : Statistiques de distances des boucles tous modes pour motifs des « inactifs » (carré CM)

On peut retenir 75% des boucles, soit à environ 9 km, soit une portée de déplacement de 4,5 km à vol d'oiseau ou encore de 5,5 km en distance effective. Toutefois 38% des boucles sont réalisées en marche à pied, donc le potentiel s'établit à 37% des boucles.

Cependant, selon les motifs l'usage du vélo est plus ou moins difficile. Le Tableau 38 donne la répartition par motif des boucles réalisées par les personnes autres que actifs et scolaires ou étudiants, soit les « inactifs ».

Motif	Part des boucles
Accompagnements	21%
Affaires personnelles	15%
Achats en grande surface	16%
Achats en petit commerce	18%
Libre	29%
Autres	1%
Total	100%

Tableau 75 : Parts des motifs dans les boucles des « inactifs » (carré CM)

Il semble raisonnable d'exclure les accompagnements (quoique) et les achats en grande surface, soit 37% des boucles. Nous appliquons ce facteur correctif (0,63) au potentiel de 37%, soit un potentiel ultime de 24% auquel on identifie le scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 12% des boucles.

3.2.4.6 Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales

	Potentiel maximum	Potentiel volontariste haut	Potentiel volontariste bas
Actifs boucles travail	41%	40%	20%
Scolaires 5-10 ans boucles études	18%	18%	9%
Scolaires 11-14 ans boucles études	30%	30%	15%
Scolaires 15-17 ans boucles études	52%	52%	26%
Autres motifs	37%	24%	12%

Tableau 76 : Récapitulatif des scénarios vélo pour le carré CM

Pour le vélo, les modes concernés par une réallocation des boucles sont la voiture particulière en tant que conducteur ou passager, les transports collectifs et les modes « autres ». Nous supposons que les boucles en marche à pied ne sont pas concernées. La méthode consiste à réallouer les boucles réalisées par les modes concernés au prorata de leur part initiale dans le total des boucles concernées.

3.2.5 Scénarios TC dans le carré CM

Il s'agit d'estimer le potentiel maximal de part de marché des transports en commun dans les boucles²⁵ effectuées par les résidents du carré métropolitain (CM), et d'en déduire les parts correspondants à des scénarios volontaristes « haut » et « bas ».

Comme indiqué précédemment (cf. Tableau 62) la part des transports collectifs tous motifs confondus s'élève globalement à 20% des boucles réalisées par les résidents du carré CM quelque soit la destination. Cette part varie selon les motifs, 24% pour le domicile-travail et jusqu'à 62% pour les lycéens. Il est donc pertinent de se focaliser d'une part sur les boucles réalisées par les actifs pour le travail, d'autre part sur les boucles réalisées par les scolaires (primaire, collège, lycée).

Le cas des « étudiants » (repérés comme statut « étudiants » et ayant 18 ans et plus) est particulier. La forte part de la marche à pied (28%) indique qu'une partie des étudiants interrogés logent sur un campus ou à proximité de celui-ci. D'une manière générale la population étudiante est assez mal appréhendée à travers les enquêtes ménages-déplacements. Nous la laissons de côté quitte à l'assimiler à la population des actifs.

3.2.5.1 Données

Concernant les actifs, par cohérence avec le carré OL, nous nous appuyons sur des données issues du recensement (fichier MobPro 2013), où nous disposons de l'information sur le lieu de travail (donc la destination de la navette) et le mode de transport déclaré.

²⁵ Rappelons qu'il s'agit des boucles effectuées dans le périmètre de l'EMD 2015 – donc y compris au-delà du seul carré CM – mais internes à ce périmètre de manière à pouvoir repérer précisément le lieu de destination et donc calculer les distances parcourues

La question se pose d'utiliser les données brutes ou redressées (cf. supra). Une rapide comparaison des parts modales brutes et redressées (cf. Tableau 77) montre qu'il n'y a pas de différence notable entre ces deux approches. Nous exploitons donc les données redressées.

	autre	MAP	2R	V	TC	Total
Données brutes	6 773	20 481	9 828	123 170	60 217	220 469
	3%	9%	4%	56%	27%	100%
Données redressées	21 001	57 648	28 439	370 712	165 326	643 126
	3%	9%	4%	58%	26%	100%

Tableau 77 : Répartition des actifs du carré CM en fonction de leur mode de transport déclaré (Mobpro 2013)

Concernant les scolaires nous utilisons l'EMD Lyon 2015.

3.2.5.2 Méthode

Comme indiqué plus haut nous distinguons les actifs pour le travail et les scolaires pour se rendre à l'établissement d'enseignement (école, collège, lycée).

Comme pour le carré OL, nous prenons le parti d'estimer le potentiel maximal de report modal sur la base d'un principe d'« imitation », à savoir « si une personne le fait, tous le pourraient ». Concrètement, cela consiste à sélectionner les couples origine-destination (communes ou arrondissement) « faisables » en transport en commun, car effectuées au moins une fois par un individu selon ce mode (selon MobPro). Nous calculons alors la nouvelle part modale si tous les actifs qui réalisent leur navette en voiture particulière sur ces couples origine-destination basculaient sur les transports collectifs.

3.2.5.3 Résultats

Afin d'analyser le potentiel d'imitation en TC urbains nous restreignons l'analyse aux origines-destinations internes au périmètre du carré CM (soit 92% des navettes effectuées par les résidents du carré CM).

	autre	MAP	2R	V	TC	total
	20 512	56 886	27 668	330 640	155 681	591 386
	3%	10%	5%	56%	26%	100%

Tableau 78 : Répartition modale des actifs du carré CM sur les OD effectuées à l'intérieur du périmètre CM

Si l'on se restreint aux origines-destinations communales réalisées au moins une fois en TC (cf. Tableau 42), on constate que 155.681 actifs réalisent leur navette en TC tandis que sur ces mêmes OD 267.086 actifs les réalisent en véhicule privé.

	autre	MAP	2R	V	TC	total
	19 396	56 090	26 040	267 086	155 681	524 292
	4%	11%	5%	51%	30%	100%

Tableau 79 : Répartition modale des actifs du carré CM sur les OD effectuées en TC

En supposant que tous ces utilisateurs de l'automobile passent aux TC, la répartition modale globale devient celle exposée en Tableau 43.

autre	MAP	2R	V	TC	total
20 512	56 886	27 668	63 555	422 766	591 386
3%	10%	5%	11%	71%	100%

Tableau 80 : Répartition modale des actifs du carré CM après imitation maximale TC

Les navetteurs TC passeraient alors de 155.681 à 422.766 actifs, soit de 26 % à 71 % de l'ensemble des actifs résidents dans le carré OL. Le potentiel de transfert de la voiture aux transports en commun serait ainsi de 45 points de pourcentage du total des navetteurs.

Afin de déterminer des potentiels de transfert « bas » et « haut » plus plausibles nous examinons différents scénarios de renforcement de l'offre. L'un serait d'intensifier l'offre de proximité par des navettes bus intra-communales. En ne retenant cette fois, parmi les navetteurs TC imités, que les seules navettes intra-communales, nous obtenons la distribution suivante :

autre	MAP	2R	V	TC	total
18 629	45 365	10 549	76 046	49 237	199 827
9%	23%	5%	38%	25%	100%

Tableau 81 : Répartition modale des actifs du carré CM sur les OD intra-communales effectuées en TC

Le transfert par imitation des 76.046 automobilistes donnerait la répartition suivante :

autre	MAP	2R	V	TC	total
20 512	56 886	27 668	254 594	231 727	591 386
3%	10%	5%	43%	39%	100%

Tableau 82 : Répartition modale des actifs du carré CM après imitation TC sur les OD intra-communales

En arrondissant le potentiel de part modale à 40% on arrive à un transfert potentiel de 14 points.

Le deuxième scénario de renforcement de l'offre concernerait les OD extra-communales (ou extra-arrondissements) par exemple par une densification du maillage de tramways. En ne retenant cette fois, parmi ces navetteurs TC à imiter, que les seules navettes extra-communales, nous obtenons la distribution suivante :

autre	MAP	2R	V	TC	total
766	10 726	15 491	191 039	106 443	324 465
0%	3%	5%	59%	33%	100%

Tableau 83 : Répartition modale des actifs du carré CM sur les OD extra-communales effectuées en TC

Le transfert par imitation des 191.039 automobilistes donnerait la répartition suivante :

autre	MAP	2R	V	TC	total
20 512	56 886	27 668	139 601	346 720	591 386
3%	10%	5%	24%	59%	100%

Tableau 84 : Répartition modale des actifs du carré CM après imitation TC sur les OD extra-communales

En arrondissant le potentiel de part modale à 60% on arrive à un transfert potentiel de 34 points.

De l'ensemble de ces simulations il résulte que

- le maximum qui pourrait être théoriquement atteint est une part modale de 71% (soit un transfert de 45 points) ;

- un scénario volontariste bas correspondrait à un objectif de transfert de 14 points (cas des OD intra-communales) ;
- un scénario volontariste haut correspondrait à un objectif de transfert de 34 points (cas des OD extra-communales).

a) Boucles domicile-études pour les scolaires

Pour les collégiens (entre 11 et 14 ans) :

La part initiale des TC dans les boucles des 11-14 ans à destination de l'établissement d'enseignement (a priori le collège) s'établit à 32% (cf. Tableau 55).

Mode principal	VPP	VPC	TC	Autre	MàP	Total
Nombre initial de boucles	207		321	27	446	1001
%	21%		32%	3%	45%	100%
Potentiel d'imitation	95		321	15	391	822
%	12%		39%	2%	48%	100%
Résultat d'imitation	112		416	27	446	1001
%	11%		42%	3%	45%	100%

Tableau 85 : Répartition modale des boucles études des collégiens dans le carré CM

822 boucles sont réalisées sur des OD où au moins un collégien utilise les TC, et ils sont d'ailleurs 321 à le faire. En transférant les autres boucles non réalisées à pied (soit 95 boucles en voiture-passager) on arrive à 416 boucles réalisables en TC, soit 42% de part modale. Nous fixons donc le scénario volontariste haut au niveau de ce potentiel, soit un transfert de 10 points, et le volontariste bas à la moitié, soit 5 points.

Pour les lycéens (entre 15 et 17 ans) :

La part initiale des TC dans les boucles des 15-17 ans à destination de l'établissement d'enseignement (a priori le lycée) s'établit à 62% (cf. Tableau 56).

Mode principal	VPP	VPC	TC	Autre	MàP	Total
Effectif Initial	101	3	481	13	183	781
	13%	0%	62%	2%	23%	100%
Potentiel d'imitation	48	2	481	8	133	672
	7%	0%	72%	1%	20%	100%
Résultat d'imitation	53	3	529	13	183	781
	7%	0%	68%	2%	23%	100%

Tableau 86 : Répartition modale des boucles études des lycéens dans le carré CM

672 boucles sont réalisées sur des OD où au moins un collégien utilise les TC, et ils sont d'ailleurs 481 à le faire. En transférant les autres boucles non réalisées à pied (soit 48 boucles en voiture-passager, on arrive à 529 boucles réalisables en TC, soit 68% de part modale. Le réalisé (62%) est donc assez proche du potentiel maximal. Nous fixons donc le scénario volontariste haut au niveau de ce potentiel, soit un transfert de 6 points, et le volontariste bas à la moitié, soit 3 points.

3.2.5.4 Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales

	Part modale initiale	Potentiel maximum	Transfert maximum	Transfert volontariste haut	Transfert volontariste bas
Actifs boucles travail	26%	71%	45 points	34 points	14 points
Scolaires 11-14 ans boucles études	32%	42%	10 points	10 points	5 points
Scolaires 15-17 ans boucles études	62%	68%	6 points	6 points	3 points

Tableau 87 : Récapitulatif des scénarios TC dans le carré CM

Méthode pour modifier les parts modales :

Pour les TC, les modes concernés par une réallocation des boucles sont la voiture particulière en tant que conducteur ou passager et les modes « autres ». Nous supposons que les boucles en marche à pied ne sont pas concernées. La méthode consiste à réallouer les boucles réalisées par les modes concernés au prorata de leur part initiale dans le total des boucles concernées.

3.2.6 Résultats des simulations sur le carré CM

Nous testons tout d'abord le scénario fictif de relocalisation de toute la population (actuelle et nouvelle prévue en 2050) dans le pôle central du carré CM. Dans le cas du carré Métropolitain Lyonnais les 1.541.174 habitants de 2015 et les 318.266 supplémentaires prévus en 2050 (+21%), soit 1.859.440 habitants, seraient totalement localisés dans le pôle LV1 (Lyon-Villeurbanne et 1^{ère} couronne), le seul « vertueux » en termes de mobilité dans ce carré. Comme l'indique le Tableau 122 cela signifie un quasi doublement de la population de ce pôle (passage de 950.338 habitants à 1.859.440 habitants). Dans cette augmentation globale de population, la structure démographique évolue également : le nombre d'actifs augmente de 20%, comme la population, les différentes classes d'âge de moins de 30 ans entre 11% (pour les 18-30 ans) et 25% (pour les 11-14 ans), et la part des plus de 60 ans de 43%.

Les habitants relocalisés adoptant les comportements moyens des habitants actuels de ce pôle central, la distance totale parcourue diminuerait (-6%). Cette diminution est impulsée par celle des distances parcourues en voiture (-23% pour la voiture passager, -21% pour la voiture conducteur), compensée par l'augmentation de celles parcourues en transports collectifs qui augmenteraient d'un quart. Enfin, les distances parcourues à pied doubleraient. In fine les émissions de CO2 diminueraient de 17%.

Scénarios	variation population					variation distance					variation CO2 totale
	totale	LV1	LV2	Z3-pôles	Z3-reste	totale	VPP	VPC	TC	MAP	
Population totale en 2050 relocalisée en LV1	21%	96%	-100%	-100%	-100%	-6%	-23%	-21%	26%	32%	-17%

Tableau 88 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré CM

Nous testons ensuite les scénarios dans lesquels l'action sur les localisations ne joue que sur les populations nouvelles. Le Tableau 89 regroupe les résultats des simulations sur le carré CM, d'abord en isolant les mesures une à une puis en estimant les effets de certains paquets de mesures.

La colonne « Localisations » indique la localisation de la population en 2015 ou pour les différentes configurations spatio-fonctionnelles « éparpillées » ou « polarisées ». Par exemple la « population

éparpillée 2030 » correspond à la population *supplémentaire* projetée par Omphale dans le carré CM en 2030 (+10%) répartie entre les communes au prorata du poids démographique de celles-ci en 2015.

La colonne « Emissions p-km » combine un scénario technologique (émissions des voitures particulières en 2030 ou 2050, contre émissions d'aujourd'hui dénommé « actuel ») et un scénario de covoiturage : « actuel » correspond aux taux de remplissage aujourd'hui, « bas » et « haut » correspondent aux scénarios volontaristes respectifs de covoiturage.

La colonne « parts modales » oppose aux parts actuelles le résultat du scénario volontariste TC « bas » ou « haut » ou du scénario volontariste vélo-VAE « bas » ou « haut ».

Enfin, les colonnes suivantes indiquent les variations relatives, par rapport à 2015, de la population au total, dans les différentes zones, les variations de distance (en passager-km) au total et par mode principal de déplacement, ainsi que la variation totale de CO2 émis par la mobilité des résidents du carré CM.

Scénarios	Emissions p-km	Parts modales	variation population				variation distance				MAP	var CO2	
			totale	LV1	LV2	Z3-pôles	Z3-reste	totale	VPP	VPC			TC
Localisations	Actuel et Cov. actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Population 2015	Actuel et Cov. actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Population 2015	Actuel et Cov. actuel	TC volontariste bas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-6%	-12%	37%	0%	-9%
Population 2015	Actuel et Cov. actuel	TC volontariste haut	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	-29%	92%	0%	-21%
Population 2015	Actuel et Cov. actuel	vélo-VAE volontariste bas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-19%	-19%	-23%	51%	-20%
Population 2015	Actuel et Cov. actuel	vélo-VAE volontariste haut	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-37%	-39%	-45%	102%	-40%
Population 2015	Actuel et Cov. bas	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-10%
Population 2015	Actuel et Cov. haut	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-23%
Population 2015	VP 2030 et Cov. actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-30%
Population 2015	VP 2050 et Cov. actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-61%
Population 2015	VP 2030 et Cov. bas	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-36%
Population 2015	VP 2050 et Cov. haut	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-69%
Population Eparpillée 2030 partout	Actuel et Cov. actuel	Actuel	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	11%	10%	10%
Population Eparpillée 2030 sauf LV1	Actuel et Cov. actuel	Actuel	10%	0%	27%	27%	27%	14%	17%	16%	10%	9%	15%
Population Polarisée 2030 sur LV1	Actuel et Cov. actuel	Actuel	10%	17%	0%	0%	0%	8%	7%	7%	11%	11%	7%
Population Polarisée 2030 sur LV2	Actuel et Cov. actuel	Actuel	10%	0%	55%	0%	0%	12%	14%	13%	10%	10%	13%
Population Polarisée 2030 sur les 5 pôles	Actuel et Cov. actuel	Actuel	10%	0%	0%	208%	0%	15%	17%	16%	12%	12%	16%
Population Eparpillée 2050 partout	Actuel et Cov. actuel	Actuel	21%	21%	21%	21%	21%	20%	21%	20%	21%	21%	20%
Population Eparpillée 2050 sauf LV1	Actuel et Cov. actuel	Actuel	21%	0%	54%	54%	54%	28%	33%	32%	19%	18%	31%
Population Polarisée 2050 sur LV1	Actuel et Cov. actuel	Actuel	21%	33%	0%	0%	0%	16%	13%	13%	21%	23%	14%
Population Polarisée 2050 sur LV2	Actuel et Cov. actuel	Actuel	21%	0%	111%	0%	0%	24%	28%	26%	19%	20%	25%
Population Polarisée 2050 sur les 5 pôles	Actuel et Cov. actuel	Actuel	21%	0%	0%	422%	0%	29%	34%	31%	22%	24%	31%
Population Eparpillée 2030 sauf LV1	VP 2030 et Cov. actuel	Actuel	10%	0%	27%	27%	27%	14%	17%	16%	10%	9%	-19%
Population Eparpillée 2030 sauf LV1	VP 2030 et Cov. bas	Actuel	10%	0%	27%	27%	27%	14%	17%	16%	10%	9%	-27%
Population Eparpillée 2030 sauf LV1	VP 2030 et Cov. bas	TC volontariste bas	10%	0%	27%	27%	27%	14%	10%	2%	52%	9%	-31%
Population Eparpillée 2030 sauf LV1	VP 2030 et Cov. bas	vélo-VAE volontariste bas	10%	0%	27%	27%	27%	14%	-5%	-6%	-14%	65%	-41%
Population Polarisée 2030 sur LV1	VP 2030 et Cov. bas	vélo-VAE volontariste bas	10%	17%	0%	0%	0%	8%	-14%	-14%	-14%	68%	-45%
Population Eparpillée 2050 sauf LV1	VP 2050 et Cov. actuel	Actuel	21%	0%	54%	54%	54%	28%	33%	32%	19%	18%	-50%
Population Eparpillée 2050 sauf LV1	VP 2050 et Cov. haut	Actuel	21%	0%	54%	54%	54%	28%	33%	32%	19%	18%	-60%
Population Eparpillée 2050 sauf LV1	VP 2050 et Cov. haut	TC volontariste haut	21%	0%	54%	54%	54%	28%	15%	-5%	134%	18%	-59%
Population Eparpillée 2050 sauf LV1	VP 2050 et Cov. haut	vélo-VAE volontariste haut	21%	0%	54%	54%	54%	28%	-15%	-19%	-34%	141%	-76%
Population Polarisée 2050 sur LV1	VP 2050 et Cov. haut	vélo-VAE volontariste haut	21%	33%	0%	0%	0%	16%	-30%	-31%	-34%	146%	-79%

Tableau 89 : Résultats des simulations sur le carré CM

Les premières lignes du tableau permettent de vérifier l'effet propre de l'augmentation de population, 10% en 2030 et 21% en 2050. Les variations de distance sont équivalentes (à 1 point près selon les cas) puisque la projection se fait à comportements constants, et ce malgré le fait que les projections Omphale que nous appliquons montrent des augmentations différenciées des catégories socio-démographiques avec notamment une assez forte augmentation des plus de 60 ans (+ 20% en 2030, +43% en 2050).

Une première question est celle d'une amélioration éventuelle quand on passe d'un scénario « éparpillement » aux différents scénarios « polarités » : on voit qu'en 2030 l'augmentation de distance parcourue au total varie entre 8% dans le cas de la nouvelle population polarisée en LV1 et 15% dans le cas de la nouvelle population polarisée sur les 5 pôles. Dans le cas de la polarisation sur LV1 cette augmentation de 8% est plus portée par les TC et la MAP (11%) que la voiture particulière (7%). Il en résulte une augmentation modérée des émissions de CO2 (7%) par rapport à l'augmentation de la population de 10%. A l'opposé, dans le cas de la nouvelle population polarisée sur les 5 pôles cette augmentation de 15% est plus portée par la voiture particulière (16%) que par les TC et la MAP (12%). Il en résulte une augmentation des émissions de CO2 de 16%.

En 2050 l'augmentation de distance parcourue au total varie entre 16% dans le cas de la nouvelle population polarisée en LV1 et 29% dans le cas de la nouvelle population polarisée sur les 5 pôles. Dans le cas de la polarisation sur LV1 cette augmentation de 16% est plus portée par les TC et la MAP (respectivement 21% et 23%) que la voiture particulière (13%). Il en résulte une augmentation modérée des émissions de CO2 (14%) par rapport à l'augmentation de la population de 21%. A l'opposé, dans le cas de la nouvelle population polarisée sur les 5 pôles cette augmentation de 29% est plus portée par la voiture particulière passager ou conducteur (respectivement 34% et 31%) que par les TC et la MAP (respectivement 22% et 24%). Il en résulte une augmentation des émissions de CO2 de 31%.

Notons le classement des situations intermédiaires dans l'ordre des distances totales parcourues et des émissions de CO2, identique en 2030 et 2050, à savoir Population éparpillée partout, Population polarisée sur LV2, puis Population éparpillée sauf sur LV1. Ceci suggère que hormis le scénario de polarisation de la nouvelle population sur LV1, l'éparpillement partout est la moins pire des solutions.

Nous testons ensuite l'effet des scénarios volontaristes TC en maintenant la population constante en 2015. On voit que l'effet sur les émissions de CO2 des scénarios bas (-9%) et haut (-21%) est significatif, avec de fortes augmentations des distances parcourues en TC (respectivement 37% et 92%) au détriment de la voiture tant conducteur (-12% à -29%) que passager (-6% à -14%).

L'effet des scénarios vélo-VAE est plus net et double de celui des TC. A population constante, le scénario bas induit une baisse de 20% des émissions de CO2 et le scénario haut une baisse de 40%. Ces baisses correspondent à des évolutions similaires des distances parcourues en voiture particulière (passager ou conducteur) et en transports collectifs, ce qui découle de notre mécanisme de réallocation des parts modales, et une augmentation nette du mode MAP+vélo (+51% et +102%).

L'effet des scénarios de covoiturage est également assez net. A population constante, le scénario de covoiturage bas induit une baisse de 10% des émissions de CO2 et le scénario haut une baisse de 23%. Ces baisses s'effectuent à mobilité constante sans réallocation des parts modales et ont le même effet qu'un scénario technologique d'émissions.

Enfin, ces scénarios technologiques d'émissions sont ceux qui ont de loin le plus d'effet sur les émissions de CO₂ : -30% dans l'hypothèse de la voiture « 2030 » et -61% dans l'hypothèse de la voiture « 2050 ». Mais comme on le verra ce n'est pas suffisant du point de vue des objectifs dérivés de la SNBC (respectivement -30% et -70%) compte tenu de l'augmentation de la population.

Au passage, nous notons que la combinaison du covoiturage avec les scénarios technologiques d'émissions montre que les effets ne sont pas strictement additifs. Par exemple, la combinaison VP 2030 et covoiturage bas induit une baisse de 36% des émissions de CO₂ alors que VP 2030 isolément induit une réduction de 30% et « covoiturage bas » isolément 10%. Il en est de même pour la combinaison VP 2050 et « covoiturage haut ». En effet, l'effet propre du covoiturage (réduction des émissions par passager-km) s'amointrit quand les émissions par véhicule-kilomètre se réduisent elles-mêmes.

On peut se poser la question de savoir si l'évolution technologique prévisible des véhicules suffirait à atteindre les objectifs SNBC, sans avoir à mettre en œuvre des mesures comme la « localisation forcée » (polarités vs éparpillement) ou des changements de comportements de mobilité plus ou moins coûteux (socialement et financièrement). En projetant à la fois la population nouvelle en 2030 « éparpillée partout sauf sur LV1 » et la seule évolution technologique des véhicules, la réduction des émissions de CO₂ est de 19%. Pour 2050 la réduction est de 50%. Ces performances sont donc insuffisantes.

Par la suite, nous testons des paquets de mesures qui seraient susceptibles d'atteindre les objectifs SNBC, compte tenu de l'augmentation prévisible de population. Les possibilités de combinaison sont nombreuses, mais compte tenu de l'inertie des comportements et du délai nécessaire à la mise en œuvre des mesures envisagées nous pouvons considérer que les scénarios « bas » relèvent de l'horizon 2030 et les scénarios « haut » de l'horizon 2050. Par ailleurs, nous retenons comme scénario de localisation de population le plus proche de la tendance c'est-à-dire celui de l'éparpillement de la population au-delà de LV1.

Dans le scénario où la population nouvelle d'ici à 2030 est « éparpillée partout sauf sur LV1 » avec toutes les mesures actives, véhicule VP 2030, covoiturage volontariste « bas » et TC volontariste « bas », la variation de CO₂ résultante est de -31%. L'objectif SNBC de 2030 serait donc atteint. La combinaison véhicule VP 2030, covoiturage volontariste « bas » et vélo-VAE volontariste « bas » va au-delà puisqu'elle aboutit à une réduction de 41% de ces émissions.

Dans le scénario où la population nouvelle d'ici à 2050 est « éparpillée partout sauf sur LV1 » avec toutes les mesures actives, véhicule VP 2050, covoiturage volontariste « haut » et TC volontariste « haut », la variation de CO₂ résultante est de -59%. L'objectif SNBC de 2050 ne serait donc pas atteint. La combinaison véhicule VP 2050, covoiturage volontariste « haut » et vélo-VAE volontariste « haut » permet d'atteindre l'objectif SNBC puisqu'elle aboutit à une réduction de 76% de ces émissions.

Enfin, nous notons que le même ensemble de technologie et politiques volontaristes combiné à un scénario de localisation de population nouvelle plutôt forcée (population polarisée sur LV1) n'induit une amélioration que de 4 et 3 points (respectivement pour 2030 et 2050) du point de vue des émissions de CO₂.

3.2.7 Conclusion : les enjeux pour le carré métropolitain lyonnais

Les simulations montrent que l'on peut arriver en 2030 et en 2050 à se conformer aux objectifs de la SNBC si sont mises en œuvre des politiques volontaristes pour le covoiturage et le vélo, en

accompagnement de l'évolution technologique anticipée des moteurs. Le scénario volontariste « haut » en TC ne le permet pas en 2050.

Par ailleurs, l'effet différencié des localisations résidentielles (polarités vs éparpillement) semble assez marginal du point de vue des indicateurs environnementaux liés à la mobilité, sans amener non plus de redistribution notable des distances parcourues selon les modes (dont la marche à pied). Cela s'explique par les comportements de mobilité observés aujourd'hui que ce soit à l'échelle du pôle LV1 (Lyon-Villeurbanne et 1^{ère} couronne de banlieue ; 37% de boucles effectuées à pied), ou dans les cinq pôles périphériques (27% de boucles effectuées à pied).

Toutefois, il faut souligner une incertitude (qui s'ajoute aux autres !) dans le cadre de notre postulat de mobilité maintenue, à savoir l'incertitude sur l'évolution des distances parcourues. Une croissance de celles-ci, comme on a pu l'observer dans le passé à certaines périodes de croissance économique, pourrait rendre plus difficile l'atteinte des objectifs de la SNBC, surtout si l'embellie économique actuelle se confirme.

3.3 Simulations sur le carré Ouest Strasbourgeois

Le Tableau 90 ci-après donne les projections Omphale pour le carré Ouest Strasbourgeois.

	2013	2015	2030	2045	2050	Variation / 2015			
						2015	2030	2045	2050
Actifs	63 268	63 904	66 439	68 330	68 432	0 %	4 %	7 %	7 %
Ménages	50 291	51 582	59 236	64 546	65 478	0 %	15 %	25 %	27 %
Population	124 311	126 384	138 911	146 917	148 410	0 %	10 %	16 %	17 %
Par classe d'âge									
[00-04]	7 101	7 146	6 912	7 251	7 132	0 %	-3 %	1 %	0 %
[05-10]	9 055	9 246	9 243	9 545	9 614	0 %	0 %	3 %	4 %
[11-14]	6 363	6 338	6 479	6 485	6 626	0 %	2 %	2 %	5 %
[15-17]	4 642	4 786	5 042	4 914	5 006	0 %	5 %	3 %	5 %
[18-30]	17 051	17 002	17 625	17 302	17 169	0 %	4 %	2 %	1 %
[31-45]	25 612	25 321	25 016	25 703	25 737	0 %	-1 %	2 %	2 %
[46-60]	27 691	28 116	27 643	27 349	27 265	0 %	-2 %	-3 %	-3 %
[61-99]	26 796	28 429	40 951	48 368	49 861	0 %	44 %	70 %	75 %

Tableau 90 : Projections Omphale sur le carré Ouest Strasbourgeois

Les projections Omphale nécessitent un territoire d'au moins 50.000 habitants, ce qui fait qu'il n'est pas possible d'avoir, à l'intérieur du carré Ouest Strasbourgeois, une projection séparée pour les 4 pôles. Nous prenons les données de la population et des actifs issus du RGP 2013 (pour lequel nous pouvons calculer la répartition entre les 4 pôles et le « hors pôle ») et leur appliquons la croissance estimée par Omphale entre 2013 et 2015. Cela nous permet de ventiler notre population entre les 4 pôles et le « hors-pôle ». Nous appliquons ensuite à chacune de ces deux zones et pour chaque catégorie de population les projections de croissance en pourcentage issues de Omphale pour le carré OS dans son ensemble aux horizons 2030 et 2050 (cf. Tableau 91).

2015	Les 4 pôles	Hors pôles	Total	2015	Les 4 pôles	Hors pôles	Total
Population	42 110	84 271	126 381	Population	33%	67%	100%
Actifs	20 613	43 136	63 749	Actifs	32%	68%	100%
[05-10]	3 081	6 165	9 246	[05-10]	33%	67%	100%
[11-14]	2 112	4 226	6 338	[11-14]	33%	67%	100%
[15-17]	1 595	3 191	4 786	[15-17]	33%	67%	100%
Eparpillement 2030				Eparpillement 2050			
Population	46 284	92 624	138 908	Population	49 449	98 958	148 406
Actifs	21 431	44 847	66 278	Actifs	22 074	46 192	68 266
[05-10]	3 080	6 163	9 243	[05-10]	3 203	6 411	9 614
[11-14]	2 159	4 320	6 479	[11-14]	2 208	4 418	6 626
[15-17]	1 680	3 362	5 042	[15-17]	1 668	3 338	5 006
2030-2015				2050-2015			
Population	10 %	10 %	10 %	Population	17 %	17 %	17 %
Actifs	4 %	4 %	4 %	Actifs	7 %	7 %	7 %
[05-10]	0 %	0 %	0 %	[05-10]	4 %	4 %	4 %
[11-14]	2 %	2 %	2 %	[11-14]	5 %	5 %	5 %
[15-17]	5 %	5 %	5 %	[15-17]	5 %	5 %	5 %
Polarités 2030				Polarités 2050			
Population	54 636	84 271	138 908	Population	64 135	84 271	148 406
Actifs	23 142	43 136	66 278	Actifs	25 130	43 136	68 266
[05-10]	3 078	6 165	9 243	[05-10]	3 449	6 165	9 614
[11-14]	2 253	4 226	6 479	[11-14]	2 400	4 226	6 626
[15-17]	1 851	3 191	5 042	[15-17]	1 815	3 191	5 006
2030-2015				2050-2015			
Population	30 %	0 %	10 %	Population	52 %	0 %	17 %
Actifs	12 %	0 %	4 %	Actifs	22 %	0 %	7 %
[05-10]	0 %	0 %	0 %	[05-10]	12 %	0 %	4 %
[11-14]	7 %	0 %	2 %	[11-14]	14 %	0 %	5 %
[15-17]	16 %	0 %	5 %	[15-17]	14 %	0 %	5 %

Tableau 91 : Projections de population dans le carré OS selon les configurations spatio-fonctionnelles

3.3.1 Description des mobilités dans le carré OS

3.3.1.1 La mobilité des actifs pour le travail

Les actifs du carré OS effectuent en moyenne 0,86 boucles par jour pour le travail. Ces boucles sont effectuées à 73% en voiture particulière comme conducteur, 9% en voiture particulière passager, 5% en transports collectifs et 7% en marche à pied (mais à 15% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 49% une destination hors du carré OS avec une portée moyenne (distance aller au lieu de travail) de 30,6 km.

3.3.1.2 Les « primaires » (5-10 ans)

Les primaires effectuent en moyenne 1,26 boucles par jour pour aller à l'école. Ces boucles sont effectuées à 56% en voiture particulière (passager) et 32% en marche à pied (mais à 41% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 94% une destination dans le carré OS avec une portée moyenne de 8,1 km.

3.3.1.3 Les « collégiens » (11-14 ans)

Les collégiens effectuent en moyenne 0,95 boucles par jour pour aller au collège. Ces boucles sont effectuées à 33% en transports collectifs, 49% en voiture particulière (passager) et 16% en marche à

ped (mais à 35% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 83% une destination dans le carré OS avec une portée moyenne de 8,6 km.

3.3.1.4 Les « lycéens » (15-17 ans)

Les lycéens effectuent en moyenne 0,92 boucle par jour pour aller au lycée. Ces boucles sont effectuées à 57% en transports collectifs, 22% en voiture particulière (passager) et 9% en marche à pied (mais à 22% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 67% une destination dans le carré OS avec une portée moyenne de 18,3 km.

3.3.1.5 Les autres motifs

Pour les motifs autres qu'aller au travail ou en établissement scolaire, la population du carré OS effectue en moyenne 0,79 boucle par jour. Ces boucles sont effectuées à 47% en voiture particulière (conducteur), 19% en voiture particulière (passager) et 28% en marche à pied (mais à 36% en marche à pied pour les résidents des 4 pôles). Elles ont à 81% une destination dans le carré OS avec une portée moyenne de 13,9 km.

Ces comportements de mobilité différents selon la zone de résidence (notamment la forte part de la marche à pied dans les 4 pôles) justifient a posteriori, le calcul différencié des mobilités selon la distinction pôles / hors pôles.

Pop_TMot_VPP	OS.4.Pôles	OS.Hors.pôles	Total.Carré	Z4	Total
OS 4 Pôles	17%	25%	19%	16%	18%
OS Hors pôles	28%	18%	21%	22%	21%
Total	21%	19%	20%	20%	20%
Pop_TMot_VPC	OS.4.Pôles	OS.Hors.pôles	Total.Carré	Z4	Total
OS 4 Pôles	34%	66%	38%	63%	43%
OS Hors pôles	61%	35%	42%	69%	51%
Total	42%	39%	41%	67%	48%
Pop_TMot_TC	OS.4.Pôles	OS.Hors.pôles	Total.Carré	Z4	Total
OS 4 Pôles	1%	2%	1%	19%	4%
OS Hors pôles	9%	3%	5%	9%	6%
Total	4%	3%	3%	12%	6%
Pop_TMot_MAP	OS.4.Pôles	OS.Hors.pôles	Total.Carré	Z4	Total
OS 4 Pôles	43%	3%	36%	%	30%
OS Hors pôles	1%	35%	25%	%	16%
Total	29%	30%	30%	%	22%

Tableau 92 : Parts modales (boucles), population totale, tous motifs (carré OS, source EMD Strasbourg 2009)

Règle de lecture : la part modale de la voiture comme passager (VPP) est de 17% pour les boucles émises depuis un domicile dans les 4 pôles vers une destination principale dans les 4 pôles ; la part modale de la voiture comme passager (VPP) pour toutes les boucles émises depuis les 4 pôles est de 18%.

Pop_TMot_TMd	OS.4.Pôles	OS.Hors.pôles	Total.Carré	Z4	Total
OS 4 Pôles	7.7	17.6	9.2	53.3	16.8
OS Hors pôles	14.3	8.3	10.1	37.0	19.3
Total	9.8	9.7	9.7	40.8	18.3

Tableau 93 : Moyenne des kilomètres parcourus par boucle, population totale, tous modes, tous motifs (carré OS, source EMD Strasbourg 2009)

Règle de lecture : la distance moyenne totale parcourue (à vol d'oiseau) des boucles émises depuis un domicile dans les 4 pôles vers une destination principale dans les 4 pôles est de 7,7 km ; la distance moyenne totale parcourue pour toutes les boucles émises depuis les 4 pôles est de 16,8 km.

3.3.2 Application des scénarios de mobilité

L'analyse précédente permet de spécifier par catégories de boucles – groupe sociodémographique x motif – les scénarios (ou leviers comportementaux) de mobilité qui sont appliqués (cf. Tableau 94).

Catégories de boucles	Emissions 2030 et 2050	Covoiturage	Vélo-VAE	TC
Act x Trav	x	x	x	x
Scol x Scol	(sur VPP et TC)			
- Sc05	x	n.a.	x	n.a.
- Sc11	x	n.a.	x	x
- Sc15	x	n.a.	x	x
Tot x NoTravNoScol	x	n.a.	x	n.a.

Tableau 94 : Scénarios d'émissions et de mobilité appliqués par catégorie de boucles (carré OS)

Les scénarios technologiques d'émission (par la voiture particulière et les transports collectifs) sont applicables à toutes les catégories de boucles, les actifs pour le travail et les motifs autres que travail bien sûr mais aussi toutes les catégories scolaires, étant donné la part importante de l'accompagnement en voiture.

On considère a priori que les scénarios de covoiturage n'ont de potentiel d'économie de véhicules-kilomètres que pour les boucles des actifs liées au travail, étant donné les distances parcourues (28 km en moyenne) et le faible taux de remplissage actuel (1,08). Le potentiel est bien moindre sur la mobilité des écoliers en primaire qui reste largement locale tandis que la question de la réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les collégiens et les lycéens est traitée en priorité par un transfert potentiel sur les transports collectifs. Nous laissons de côté les boucles pour les autres motifs (achats et autres) réalisées en voiture particulière, qui se caractérisent déjà par un taux de remplissage moyen élevé (1,5), bien qu'il puisse y avoir des enjeux certains (portée moyenne de 10 km) : mais ce type de mobilité – irrégulière – nécessiterait des politiques de covoiturage (par exemple du type « autoparc 2.0 ») difficiles à évaluer ex ante.

Les scénarios de vélo (impliquant le vélo à assistance électrique) concernent a priori, comme argumenté ci-après, toutes les catégories de boucles.

Les scénarios de transports collectifs ne sont appliqués qu'aux boucles liées au travail et aux boucles scolaires des collégiens et lycéens. Les transports collectifs n'ont pas de pertinence a priori pour la mobilité de proximité des primaires ainsi que pour celle des autres motifs, aux horaires et origines-destinations très éclatées.

3.3.3 Estimation du covoiturage effectif pour le carré OS

Le périmètre retenu est celui des communes du Carré Ouest Strasbourgeois.

Le graphique suivant compare les parts des distances et des navettes origine-destination (OD) potentielles selon un seuil (en abscisse) de nombre brut d'OD communes. Les courbes sont affichées d'une part pour les données brutes, d'autre part pour les données redressées (à partir des données brutes). On voit qu'il n'y a pas de biais notable.

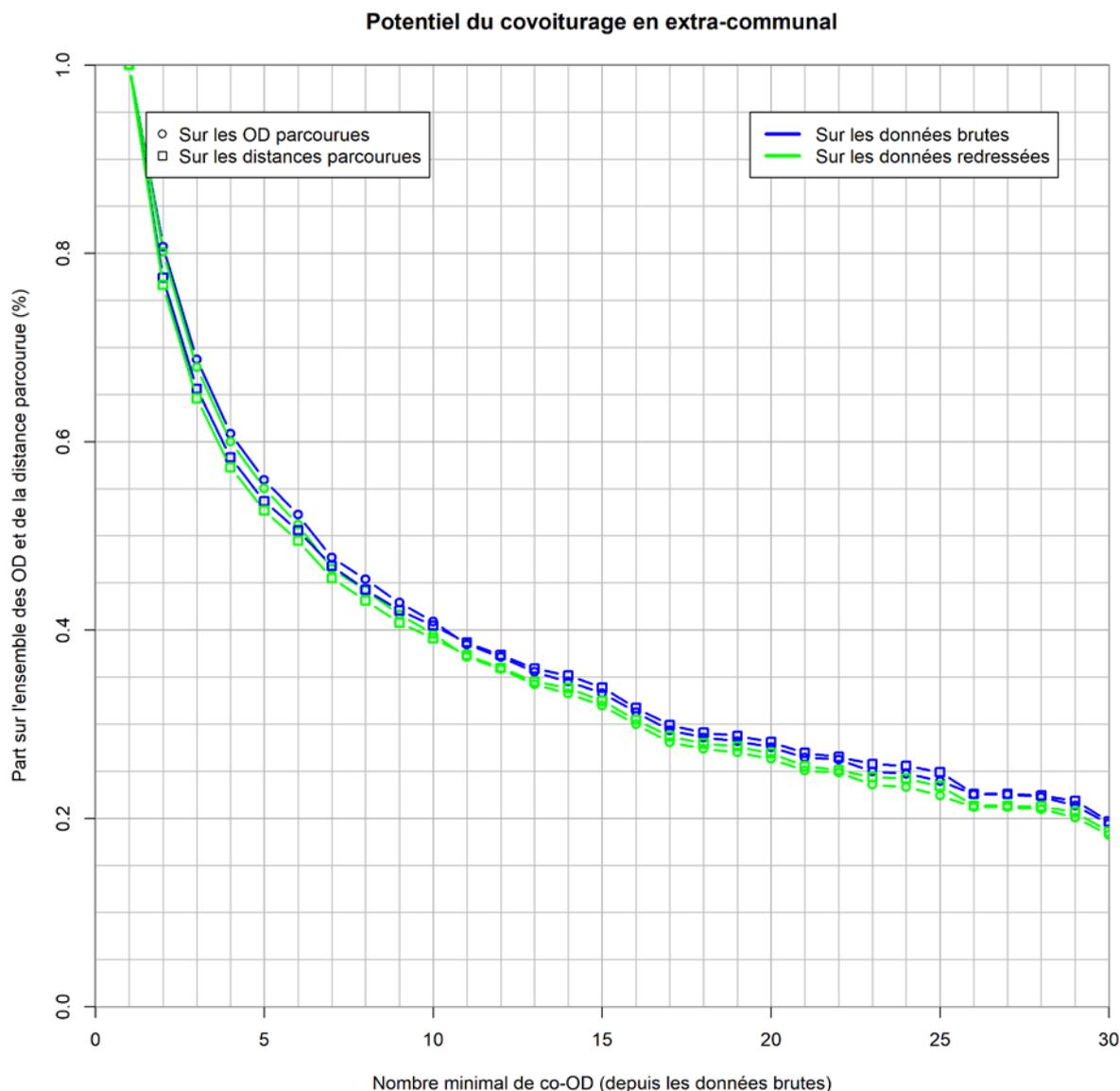


Figure 12 : Parts des navettes domicile-travail et des distances en fonction du nombre d'OD communes (données brutes et données redressées) (carré OS)

Le graphique se lit ainsi : les origines-destinations communes à au moins 10 individus représentent environ 40% des kilomètres totaux et des actifs du carré.

Le Tableau 169 en annexe donne les chiffres de ces distributions pour les données brutes.

Les tableaux ci-dessous exposent quelques résultats. Le potentiel maximal de réduction s'obtient en supposant que 100% des navetteurs potentiels changent et que les arrangements sont au maximum, soit 4 occupants par voiture.

Le potentiel maximal de réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les navettes domicile-travail s'établit donc à près de 40% avec un taux de remplissage moyen proche de 1,8.

Données carré OS			
Seuil nb navettes communes	5	10	15
% de navetteurs potentiels	55%	40%	32%
% distance potentielle	53%	40%	32%
Nb de personnes par voiture (avant)	1.08	1.08	1.08
Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	100%	100%	100%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4
Résultats			
% v-km économisés	39%	29%	23%
Taux remplissage moyen	1.76	1.53	1.41

Tableau 95 : Résultats de simulation du potentiel maximal de covoiturage (carré OS)

Nous prenons pour hypothèse que 50% des covoitureurs potentiels passent au covoiturage, c'est-à-dire qu'ils surmontent des difficultés organisationnelles (s'accorder sur l'heure de départ de la navette) et d'autres barrières éventuelles (exemple, accepter de partager un véhicule). Par ailleurs, le nombre de personnes par « co-voiture » va être variable selon la taille des groupes appariables : nous le fixons à 2 quand les groupes sont de cinq personnes et plus, à 3 pour les groupes de 10 personnes et plus, et fixons son maximum à 4 au-delà pour des raisons de confort dans un véhicule léger. L'effet de ce dernier paramètre est pondéré par le pourcentage de distance potentielle et le pourcentage de navetteurs qui passent effectivement au covoiturage.

Seuil nb navettes communes	5	10	15
Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	50%	50%	50%
Nb de personnes par co-voiture	2	3	4
Résultats			
% v-km économisés	12%	13%	12%
Taux remplissage moyen	1.23	1.24	1.22

Tableau 96 : Résultats de simulation du covoiturage (carré OS)

On voit qu'avec ces hypothèses, le pourcentage de véhicules-kilomètres économisés est de l'ordre de 12% avec un taux de remplissage de l'ordre de 1,2.

Supposons qu'une politique vigoureuse et effective en faveur du covoiturage aboutisse à faire basculer 80% des navetteurs potentiels vers le covoiturage. Le Tableau 30 ci-après montre que l'on arrive à un maximum de 20% de véhicules-kilomètres économisés et un taux de remplissage supérieur à 1,3.

Seuil nb navettes communes	5	10	15
Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	80%	80%	80%
Nb de personnes par co-voiture	2	3	4
Résultats			
% v-km économisés	20%	20%	19%
Taux remplissage moyen	1.34	1.36	1.33

Tableau 97 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement maximal (carré OS)

Supposons qu'une politique également vigoureuse et effective aboutisse à un arrangement maximal pour remplir les voitures, soit 4 personnes par voiture pour ceux qui basculent vers le covoiturage. Le Tableau 31 ci-après montre qu'on arrive à une économie maximale de 19% de véhicules-kilomètres et un taux de remplissage supérieur à 1,3.

Seuil nb navettes communes	5	10	15
Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	50%	50%	50%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4
Résultats			
% v-km économisés	19%	15%	12%
Taux remplissage moyen	1.34	1.26	1.22

Tableau 98 : Résultats de simulation du covoiturage avec arrangement maximal (carré OS)

En cumulant ces deux effets, de manière très volontariste, le pourcentage de véhicules-kilomètres économisés pourrait monter à 31% (cf. Tableau 32) avec un taux de remplissage supérieur à 1,5.

Seuil nb navettes communes	5	10	15
Paramètres			
% de navetteurs potentiels qui changent	80%	80%	80%
Nb de personnes par co-voiture	4	4	4
Résultats			
% v-km économisés	31%	23%	19%
Taux remplissage moyen	1.56	1.41	1.33

Tableau 99 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement et arrangement maximaux (carré OS)

En résumé, le potentiel maximal de réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les navettes domicile-travail s'établit à près de 40% avec un taux de remplissage proche de 1,8. Compte tenu des incertitudes liées principalement aux hypothèses sur les comportements, on peut retenir en ordre de grandeur dans un scénario « volontariste bas » un taux de remplissage moyen de 1,2 sur les boucles domicile-travail (avec 12% de véhicules-kilomètres économisés) et dans un scénario « volontariste haut » un taux de remplissage moyen de 1,5 sur les boucles domicile-travail (avec environ 30% de véhicules-kilomètres économisés).

3.3.4 Potentiels de part modale en vélo-VAE dans le carré OS

Nous déclinons l'estimation de ces potentiels par groupe socio-démographique et par motif, en nous fondant sur les données d'enquête de l'EMD Strasbourg 2009.

3.3.4.1 Les actifs pour aller au travail

Statistiques	km
min	1.8
C10	3.8
C25	7.0
median	26.1
mean	30.6
C75	45.5
C90	64.6
max	162.4

Tableau 100 : Statistiques de distances des boucles pour le travail (carré OS)

En retenant le seuil de 16 km, nous sommes quelque part entre le 1er quartile (7 km) et la médiane (26,1 km). En interpolant linéairement entre ces deux valeurs le seuil de 16 km correspond approximativement à 37% des boucles. De cette part nous déduisons 7% réalisées en marche à pied. Nous supposons que si des déplacements pour accompagnement ou pour achats sont réalisés à l'intérieur de ces boucles, ceux-ci peuvent être faits en vélo (VAE), moyennant un équipement adhoc (nacelle, carriole, etc.) ou sont alloués à un autre membre du foyer. Le potentiel s'établit donc à 30% des boucles travail. Nous retenons comme scénario volontariste haut cette même part de 30% et comme scénario volontariste bas, environ la moitié soit 15% des boucles.

3.3.4.2 Les 5-10 ans pour aller à l'école

Statistiques	km
min	1.7
C10	2.2
C25	3.3
median	4.5
mean	8.1
C75	7.6
C90	19.4
max	62.7

Tableau 101 : Statistiques de distances des boucles pour l'école primaire (carré OS)

Rappelons que nous postulons un usage du VAE réservé aux 10 ans et plus. Donc pour les « primaires » nous nous restreignons au vélo classique et donc à un déplacement d'une distance raisonnable de 2 km au maximum pour ces écoliers (éventuellement accompagnés selon le degré de sécurité offert par le réseau cyclable), soit une boucle d'un total de 4 km à vol d'oiseau (soit 5 km en distance effective). Cela se situe un peu au-dessus de la médiane. Il faut cependant déduire les 32% de boucles effectuées en marche à pied, ce qui donne un potentiel de 18% de boucles pour le vélo. Nous retenons cette même valeur pour le scénario volontariste haut, et la moitié soit 9% pour le scénario volontariste bas.

3.3.4.3 Les 11-14 ans pour aller au collège

Statistiques	km
min	1.3
C10	3.4
C25	4.6
median	6.2
mean	8.6
C75	10.6
C90	15.8
max	46.4

Tableau 102 : Statistiques de distances des boucles pour le collège (carré OS)

Nous retenons là encore une valeur raisonnable en sélectionnant la médiane à 6,2 km (soit une portée des déplacements d'environ 3 km, ou encore près de 4 km au maximum en distance effective). De ces 50% de boucles il faut déduire les 25% effectués en marche à pied. Soit un potentiel de 25% des boucles, que nous assimilons également au scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 13% des boucles.

3.3.4.4 Les 15-17 ans pour aller au lycée

Statistiques	km
min	3.3
C10	5.1
C25	5.9
median	16.3
mean	18.3
C75	22.7
C90	40.1
max	73.1

Tableau 103 : Statistiques de distances des boucles pour le lycée (carré OS)

On peut retenir la médiane (16,3 km) soit une portée de déplacement de 8 km environ (ou 10 km maximum en distance effective), seuil raisonnable pour les lycéens. De ces 50% il faut déduire les 9% de boucles réalisées en marche à pied, ce qui donne un potentiel de 40% des boucles, auquel on identifie le scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 20% des boucles.

3.3.4.5 Le reste de la population

Statistiques	km
min	1.3
C10	2.6
C25	3.8
median	5.9
mean	13.9
C75	17.2
C90	39.5
max	102.7

Tableau 104 : Statistiques de distances des boucles tous modes pour motifs des « inactifs » (carré OS)

On peut retenir 75% des boucles, soit 17 km, soit une portée de déplacement de 8,5 km environ à vol d'oiseau, ou encore 10,6 km en distance effective, un peu au-dessus du seuil de 10 km. Toutefois 28% des boucles sont réalisées en marche à pied, donc le potentiel s'établit à 47% des boucles.

Cependant, selon les motifs l'usage du vélo est plus ou moins difficile. Le Tableau 38 donne la répartition par motif des boucles réalisées par les personnes autres que actifs et scolaires ou étudiants, soit les « inactifs ».

Motif	Part des boucles
Accompagnements	22%
Affaires personnelles	14%
Achats en grande surface	13%
Achats en petit commerce	17%
Libre	29%
Autres	3%
Total	100%

Tableau 105 : Parts des motifs dans les boucles des « inactifs » (carré OS)

Il semble raisonnable d'exclure les accompagnements (quoique) et les achats en grande surface, soit environ 35% des boucles. Nous appliquons ce facteur correctif (0,65) au potentiel de 47%, soit un potentiel ultime de 30% auquel on identifie le scénario volontariste haut. Nous retenons environ la moitié pour le scénario volontariste bas soit 15% des boucles.

3.3.4.6 Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales

	Potentiel maximum	Potentiel volontariste haut	Potentiel volontariste bas
Actifs boucles travail	30%	30%	15%
Scolaires 5-10 ans boucles études	18%	18%	9%
Scolaires 11-14 ans boucles études	25%	25%	13%
Scolaires 15-17 ans boucles études	40%	40%	20%
Autres motifs	47%	30%	15%

Tableau 106 : Récapitulatif des scénarios vélo sur le carré OS

Pour le vélo, les modes concernés par une réallocation des boucles sont la voiture particulière en tant que conducteur ou passager, les transports collectifs et les modes « autres ». Nous supposons que les boucles en marche à pied ne sont pas concernées. La méthode consiste à réallouer les boucles réalisées par les modes concernés au prorata de leur part initiale dans le total des boucles concernées.

3.3.5 Scénarios TC dans le carré OS

Il s'agit d'estimer le potentiel maximal de part de marché des transports en commun dans les boucles²⁶ effectuées par les résidents du carré OS, et d'en déduire les parts correspondants à des scénarios volontaristes « haut » et « bas ». Cette estimation est faite selon différentes hypothèses d'infrastructure et de services de transports collectifs.

L'analyse des données de l'EMD Strasbourg 2009 montre que la part des transports collectifs tous motifs confondus s'élève globalement à 4% des boucles réalisées par les résidents du carré OS quelque soit la destination (cf. Tableau 40). Si l'on se limite aux motifs non obligés (donc hors travail et hors école), cette part baisse à 1%.

Boucles	Destination				Total
	OS 4 pôles	OS hors pôles	Carré OS	Reste périmètre EMD	
Tous motifs en TC	1%	2%	1%	19%	4%
Motifs autres que travail ou études en TC	0%	0%	0%	4%	1%

Tableau 107 : Parts de marché des TC dans les boucles (carré OS, EMD 2009)

Il est donc pertinent de se focaliser d'une part sur les boucles réalisées par les actifs pour le travail, d'autre part sur les boucles réalisées par les scolaires (primaire, collège, lycée).

Concernant les scolaires, selon l'EMD Strasbourg 2009 les écoliers de primaire (5-10 ans, 141 enquêtés sur le carré OS) utilisent un peu les TC (10% des boucles) et vont à l'école majoritairement accompagnés en voiture (56%) ou à pied (32%). Les collégiens (11-14 ans, 93

²⁶ Rappelons qu'il s'agit des boucles effectuées dans le périmètre de l'EMD 2009 – donc au-delà du seul carré OS – mais internes à ce périmètre de manière à pouvoir repérer précisément le lieu de destination et donc calculer les distances parcourues

enquêtés) sont plutôt accompagnés en voiture (49%) ou utilisent les TC (24%) ou vont à pied (25%). Les lycéens (15-17 ans, 59 enquêtés) sont majoritairement en TC (57%).

Le cas des « étudiants » (repérés comme statut « étudiants » et ayant 18 ans et plus) est particulier. Ils ne sont que 50 enquêtés dans le carré OS et déclarent en tout 32 boucles domicile-études le jour d'enquête. D'une manière générale la population étudiante est assez mal appréhendée à travers les enquêtes ménages-déplacements. Au vu de la faible taille de cet échantillon sur le carré OS nous le laissons de côté quitte à l'assimiler à la population des actifs.

3.3.5.1 Données

Concernant les actifs, compte tenu de la faiblesse de l'échantillon enquêté sur le carré OS dans le cadre de l'EMD Strasbourg 2009 (754 enquêtés), nous nous appuyons sur des données issues du recensement (fichier MobPro 2013), où nous disposons de l'information sur le lieu de travail (donc la destination de la navette) et le mode de transport déclaré.

La question se pose d'utiliser les données brutes ou redressées (cf. supra). Une rapide comparaison des parts modales brutes et redressées (cf. Tableau 108) montre qu'il n'y a pas de différence notable entre ces deux approches. Nous exploitons donc les données redressées.

	autre	MAP	2R	V	TC	total
Données brutes	700	816	380	10 724	1 106	13 726
	5%	6%	3%	78%	8%	100%
Données redressées	3 041	3 074	1 599	44 540	4 462	56 716
	5%	5%	3%	79%	8%	100%

Tableau 108 : Répartition des actifs du carré OS en fonction de leur mode de transport déclaré (Mobpro 2013)

Concernant les scolaires nous utilisons l'EMD Strasbourg 2009.

L'offre actuelle en transports collectifs (réseaux et services) est appréhendée à l'aide des sources suivantes :

Liste des gares ferroviaires :

SNCF (<http://www.sncf.com/fr/gares/services>),

Wikipédia (https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_gares_du_Grand_Est)

Services ferrés

Source : SNCF (<https://www.ter.sncf.com/grand-est/depliant/recherche>)

Services de TC urbains :

Liste des stations de tramway CTS (<https://www.cts-strasbourg.eu/fr/se-deplacer/plans-du-reseau/>)

3.3.5.2 Méthode

Comme indiqué plus haut nous distinguons les actifs pour le travail et les scolaires pour se rendre à l'établissement d'enseignement (école, collège, lycée).

Pour les actifs le Tableau 40 plus haut montre que le niveau d'usage des TC est assez différent selon que les boucles sont réalisées en interne au carré OS ou vers l'extérieur de celui-ci. Par ailleurs l'offre TC est une offre fondée sur deux lignes ferroviaires convergeant vers l'agglomération de Strasbourg (cf. carte). Cela justifie de décomposer l'analyse des potentiels entre une analyse portant

sur les boucles réalisées en interne au carré OS et une analyse portant sur les boucles à destination de la zone de Lyon en connexion avec le réseau lourd des transports collectifs urbains.

Nous prenons là encore le parti d'estimer le potentiel maximal de report modal sur la base d'un principe d'« imitation », à savoir « si une personne le fait, tous le pourraient ». Concrètement, cela consiste à sélectionner les couples origine-destination (communes) « faisables » en transport en commun, car effectuées au moins une fois par un individu selon ce mode (selon MobPro). Nous calculons alors la nouvelle part modale si tous les actifs qui réalisent leur navette en voiture particulière sur ces couples origine-destination basculaient sur les transports collectifs. Ce calcul est effectué d'une part en intra-carré OS, d'autre part pour les navettes à destination de Strasbourg.

En outre, nous évaluons des scénarios de desserte ferroviaire lorsque l'infrastructure (gares) ou les services sont présents. Dans un scénario d'infrastructure nous retenons les communes pourvues d'une gare voyageur (ou halte ferroviaire) en activité (cf. fiches horaires). Dans un scénario de services nous retenons les communes reliées par au moins un service TER(-train) quotidien. A noter que l'interconnexion des trois lignes TER qui parcourent le périmètre permet les correspondances entre l'ensemble des liaisons et donc la jonction entre toutes les gares d'arrêt. Le résultat peut alors être soit global (en intégrant la possibilité de correspondances), soit restreint (en limitant les OD possibles à l'utilisation d'un seul service TER-ferré sans correspondance).

Les scénarios concernant les navettes à destination de l'agglomération de Strasbourg consistent à sélectionner à destination les communes de l'agglomération de Strasbourg desservis par le tramway (7 lignes).

3.3.5.3 Résultats

a) Boucles domicile-travail intra-carré OS

Imitation TC maximale en intra-carré OS :

Si l'on se restreint aux origines-destinations communales réalisées au moins une fois en TC (cf. Tableau 42), on constate que 480 actifs réalisent leur navette en TC tandis que sur ces mêmes OD 5.450 actifs les réalisent en automobile.

autre	MAP	2R	V	TC	total
915	1 530	398	5 450	480	8 774
10%	17%	5%	62%	5%	100%

Tableau 109 : Répartition modale des actifs du carré OS sur les OD effectuées en TC en intra-carré OS

En supposant que tous ces utilisateurs de l'automobile passent aux TC, la répartition modale globale devient celle exposée en Tableau 43.

autre	MAP	2R	V	TC	total
3 041	3 074	1 599	39 090	9 912	56 716
5%	5%	3%	69%	17%	100%

Tableau 110 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation maximale TC en intra-carré OS

Les navetteurs TC passent alors de 4.462 à 9.912 actifs, soit de 8 % à 17 % de l'ensemble des actifs résidents dans le carré OS. Le potentiel de transfert de la voiture aux transports en commun est ainsi de 9 points de pourcentage du total des navetteurs.

Toutefois parmi ces navettes beaucoup sont intracommunales, et le transfert massif de ces dernières sur les TC paraît peu probable. En ne retenant cette fois, parmi ces navetteurs TC imités, que les seules navettes extra-communales, nous obtenons la distribution suivante :

autre	MAP	2R	V	TC	total
46	45	129	2 706	353	3 280
1%	1%	4%	83%	11%	100%

Tableau 111 : Répartition modale des actifs du carré OS sur OD extra-communales effectuées en TC en intra-carré OS

Il ne s'agit plus que de 353 navetteurs TC qui peuvent être potentiellement imités par 2.706 navetteurs VP. La répartition modale globale après imitation se dessine dès lors ainsi (cf. Tableau 45).

autre	MAP	2R	V	TC	total
3 041	3 074	1 599	41 834	7 168	56 716
5%	5%	3%	74%	13%	100%

Tableau 112 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation TC en intra-carré OS (navettes extracommunales)

Le potentiel de report modal est alors de seulement 5 points.

Imitation TC ferroviaire en intra-carré OL – hypothèse des services :

En se concentrant sur les services ferrés actuellement existants, 1.799 navetteurs VP pourraient profiter des services TER disponibles pour utiliser les TC, à l'instar des 48 navetteurs actuels (cf. Tableau 48).

autre	MAP	2R	V	TC	total
46	61	164	1 799	48	2 118
2%	3%	8%	85%	2%	100%

Tableau 113 : Répartition modale des actifs du carré OS sur OD reliées par train effectuées en TC en intra-carré OS

La part TC globale passerait de 8 à 11 % (cf. Tableau 49), soit un potentiel de transfert modal de 3 points.

autre	MAP	2R	V	TC	total
3 041	3 074	1 599	42 741	6 261	56 716
5%	5%	3%	75%	11%	100%

Tableau 114 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation TC (services ferrés) en intra-carré OS

b) Boucles domicile-travail vers Strasbourg et son réseau tram

Ici on s'intéresse aux navettes vers Strasbourg, c'est-à-dire vers la ville de Strasbourg et les communes environnantes desservies par le réseau de tramway.

En premier lieu nous considérons les OD pour lesquelles il existe un service ferré TER entre la commune de départ et Strasbourg. Il s'agit dès lors de 4.236 actifs répartis à 61% en automobile et 37% en TC. Le potentiel est alors le passage des 2.594 actifs initialement en automobile vers les TC (cf. Tableau 51).

autre	MAP	2R	V	TC	total
	17	38	2 594	1 587	4 236
0%	0%	1%	61%	37%	100%

Tableau 115 : Répartition modale des actifs du carré OS sur les OD reliées à « Strasbourg-tram » par train

Le Tableau 52 de nouvelle répartition modale globale après imitation montre que le potentiel de transfert modal est de 4 points de pourcentage.

autre	MAP	2R	V	TC	total
3 041	3 074	1 599	41 946	7 056	56 716
5%	5%	3%	74%	12%	100%

Tableau 116 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation sur les OD reliées à « Strasbourg-tram » par train

On peut ensuite élargir le potentiel d'imitation à toutes les OD déclarées réalisées en TC. Il peut donc s'agir, outre les utilisateurs potentiels d'un service ferré, d'actifs utilisant le car pour arriver à la zone Strasbourg-tram, soit plus probablement se rabattant par un autre mode de transport sur une gare dans une commune voisine. La répartition modale des OD réalisées au moins une fois en TC est la suivante (cf. Tableau 53).

autre	MAP	2R	V	TC	total
21	34	177	12 774	3 468	16 474
0%	0%	1%	78%	21%	100%

Tableau 117 : Répartition modale des actifs du carré OS sur les OD reliées à « Strasbourg-tram » par TC

3.468 actifs se rendent en TC depuis le carré OS dans l'une des communes de l'agglomération de Strasbourg desservies par le tram. Ces OD éprouvées en TC sont parcourues en tout par 16.474 actifs dont 12.774 en véhicule. Si l'on reporte ces derniers sur les TC, on passerait globalement sur l'ensemble des actifs du carré OL de 8 à 30 % (cf. Tableau 54), soit un transfert de 22 points de pourcentage, plus que triplant l'utilisation des TC.

autre	MAP	2R	V	TC	total
3 041	3 074	1 599	31 766	17 236	56 716
5%	5%	3%	56%	30%	100%

Tableau 118 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation sur les OD reliées à « Strasbourg-tram » par TC

De l'ensemble de ces simulations, dont les résultats varient en termes de transferts de 3 à 22 points, il résulte que

- le maximum qui pourrait être théoriquement atteint est une part modale de 30% (soit un transfert de 22 points), dans le cas de l'imitation maximale des navettes vers Strasbourg-tram ;
- un scénario volontariste haut correspondrait à un objectif de transfert de 12 points (en visant 20% de part modale) ;
- un scénario volontariste bas correspondrait à un objectif de transfert de 5 points (soit 13% de part modale) ;

c) Boucles domicile-études pour les scolaires

Rappelons que pour les scolaires la source d'estimation statistique est l'EMD.

Pour les collégiens (entre 11 et 14 ans) :

La part initiale des TC dans les boucles des 11-14 ans à destination de l'établissement d'enseignement (a priori le collège) s'établit à 24% (cf. Tableau 55).

Mode principal	VPP	VPC	TC	Autre	MàP	
Effectif Initial	43	1	21	1	22	88
%	49%		24%	1%	25%	99%
Potentiel d'imitation	8		21		1	30
%	27%		70%			97%
Résultat d'imitation	35	1	29	1	22	88
%	40%	1%	33%	1%	25%	100%

Tableau 119 : Répartition modale des boucles études des collégiens (carré OS)

30 boucles sont réalisées sur des OD où au moins un collégien utilise les TC, et ils sont d'ailleurs 21 à le faire. En transférant les autres boucles non réalisées à pied (soit 8 boucles en voiture-passager) on arrive à 29 boucles réalisables en TC, soit 33% de part modale. Nous fixons donc le scénario volontariste haut au niveau de ce potentiel, soit un transfert de 9 points, et le volontariste bas à la moitié, soit 5 points.

Pour les lycéens (entre 15 et 17 ans) :

La part initiale des TC dans les boucles des 15-17 ans à destination de l'établissement d'enseignement (a priori le lycée) s'établit à 57% (cf. Tableau 56).

Mode principal	VPP	VPC	TC	Autre	MàP	
Effectif Initial	12	2	31	4	5	54
%	22%	4%	57%	7%	9%	100%
Potentiel d'imitation	4		31			35
%	11%	0%	89%	0%	0%	100%
Résultat d'imitation	8	2	35	4	5	54
%	15%	4%	65%	7%	9%	100%

Tableau 120 : Répartition modale des boucles études des lycéens (carré OS)

35 boucles sont réalisées sur des OD où au moins un lycéen utilise les TC, et ils sont d'ailleurs 31 à le faire. En transférant les autres boucles non réalisées à pied (soit 4 boucles en voiture-passager, on arrive à 35 boucles réalisables en TC, soit 65% de part modale. Le réalisé (57%) est donc assez proche du potentiel maximal. Nous fixons donc le scénario volontariste haut au niveau de ce potentiel, soit un transfert de 8 points, et le volontariste bas à la moitié, soit 4 points.

3.3.5.4 Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales

	Part modale initiale	Potentiel maximum	Transfert maximum	Transfert volontariste haut	Transfert volontariste bas
Actifs boucles travail	8%	30%	22 points	12 points	5 points
Scolaires 11-14 ans boucles études	24%	33%	9 points	9 points	5 points
Scolaires 15-17 ans boucles études	57%	65%	8 points	8 points	4 points

Tableau 121 : Récapitulatif des scénarios TC sur le carré OS

Méthode pour modifier les parts modales :

Pour les TC, les modes concernés par une réallocation des boucles sont la voiture particulière en tant que conducteur ou passager et les modes « autres ». Nous supposons que les boucles en marche à pied ne sont pas concernées. La méthode consiste à réallouer les boucles réalisées par les modes concernés au prorata de leur part initiale dans le total des boucles concernées.

3.3.6 Résultats des simulations sur le carré OS

Nous testons tout d'abord le scénario fictif de relocalisation de toute la population (actuelle et nouvelle prévue en 2050) dans les quatre pôles du carré OS. Dans le cas du carré Ouest Strasbourgeois les 126.381 habitants de 2015 et les 22.025 supplémentaires prévus en 2050 (+17%), soit 148.406 habitants, seraient totalement localisés dans les 4 pôles que nous avons définis pour ce carré. Comme l'indique le Tableau 122 cela signifie une multiplication de la population de ces pôles par environ 3,5 (ce qui indique au passage qu'avec les 4 pôles que nous avons choisis dans le carré OS la population apparaît, dans la situation actuelle, plus polarisée que dans le carré OL). Dans cette augmentation globale de population, la structure démographique évolue également : le nombre d'actifs n'augmente que de 7%, les différentes classes d'âge de moins de 30 ans de 1 à 5% environ, et la part des plus de 60 ans de 75%.

Les habitants relocalisés adoptant les comportements moyens des habitants actuels de ces pôles, la variation de distance totale parcourue serait moindre (+4%) que la variation de population (+17%). Les distances parcourues en voiture diminueraient (-8% pour la voiture passager, -3% pour la voiture conducteur), tandis que les distances parcourues en transports collectifs augmenteraient d'un tiers et celles en marche à pied doubleraient. In fine les émissions de CO2 diminueraient légèrement, la diminution des distances parcourues en voiture étant compensée par l'augmentation de celles parcourues en transports collectifs.

Scénarios	variation population			variation distance				variation CO2 totale	
	totale	OS 4 pôles	OS hors pôles	totale	VPP	VPC	TC		MAP
Population totale 2050 relocalisée dans les pôles	17%	252%	-100%	4%	-8%	-3%	32%	95%	-3%

Tableau 122 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré OS

Nous testons ensuite les scénarios dans lesquels l'action sur les localisations ne joue que sur les populations nouvelles. Le Tableau 123 regroupe les résultats des simulations sur le carré OS, d'abord en isolant les mesures une à une puis en estimant les effets de certains paquets de mesures.

La colonne « Localisations » indique la localisation de la population en 2015 ou les deux configurations spatio-fonctionnelles « éparpillées » ou « polarisées ». Par exemple la « population éparpillée 2030 » correspond à la population *supplémentaire* projetée par Omphale dans le carré OS

en 2030 (+15%) répartie entre les communes au prorata du poids démographique de celles-ci en 2015. Le même scénario en « polarités » affecte toute la population *supplémentaire* aux 4 pôles, d'où une augmentation de 87% de leur population.

La colonne « Emissions p-km » combine un scénario technologique (émissions des voitures particulières en 2030 ou 2050, contre émissions d'aujourd'hui dénommé « actuel ») et un scénario de covoiturage : « actuel » correspond aux taux de remplissage aujourd'hui, « bas » et « haut » correspondent aux scénarios volontaristes respectifs de covoiturage.

La colonne « parts modales » oppose aux parts actuelles le résultat du scénario volontariste TC « bas » ou « haut » ou du scénario volontariste vélo-VAE « bas » ou « haut ».

Enfin, les colonnes suivantes indiquent les variations relatives, par rapport à 2015, de la population au total, dans les 4 pôles et hors pôles, les variations de distance (en passager-km) au total et par mode principal de déplacement, ainsi que la variation totale de CO2 émis par la mobilité des résidents du carré OS.

Scénarios	Emissions p-km	Variations par rapport à 2015 :	variation population			variation distance			TC	MAP/VAE	variation CO2
			Partes modales	totale	OS 4 pôles	OS hors pôles	totale	VPP			
Localisations	Actuel et Covoit actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Population Eparpillée 2030	Actuel et Covoit actuel	Actuel	10%	10%	10%	6%	8%	6%	5%	8%	6%
Population Polarités 2030	Actuel et Covoit actuel	Actuel	10%	30%	0%	6%	6%	5%	6%	13%	5%
Population Eparpillée 2050	Actuel et Covoit actuel	Actuel	17%	17%	17%	11%	13%	11%	8%	14%	11%
Population Polarités 2050	Actuel et Covoit actuel	Actuel	17%	52%	0%	11%	11%	10%	10%	23%	9%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	TC volontariste bas	0%	0%	0%	0%	-2%	-4%	37%	0%	-2%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	TC volontariste haut	0%	0%	0%	0%	-4%	-8%	83%	0%	-5%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	vélo-VAE volontariste bas	0%	0%	0%	0%	-17%	-17%	-16%	144%	-17%
Population 2015	Actuel et Covoit actuel	vélo-VAE volontariste haut	0%	0%	0%	0%	-34%	-34%	-32%	287%	-33%
Population 2015	Actuel et Covoit bas	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-6%
Population 2015	Actuel et Covoit haut	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-16%
Population 2015	VP 2030 et Covoit actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-31%
Population 2015	VP 2050 et Covoit actuel	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-63%
Population 2015	VP 2030 et Covoit bas	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-35%
Population 2015	VP 2050 et Covoit haut	Actuel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-69%
Population Eparpillée 2030	VP 2030 et Covoit actuel	Actuel	10%	10%	10%	6%	8%	6%	5%	8%	-27%
Population Eparpillée 2030	VP 2030 et Covoit bas	vélo-VAE volontariste bas	10%	10%	10%	6%	-11%	-12%	-12%	164%	-42%
Population Polarités 2030	VP 2030 et Covoit bas	vélo-VAE volontariste bas	10%	30%	0%	6%	-12%	-12%	-11%	161%	-43%
Population Eparpillée 2050	VP 2050 et Covoit actuel	Actuel	17%	17%	17%	11%	13%	11%	8%	14%	-60%
Population Eparpillée 2050	VP 2050 et Covoit haut	vélo-VAE volontariste haut	17%	17%	17%	11%	-26%	-27%	-26%	348%	-77%
Population Polarités 2050	VP 2050 et Covoit haut	vélo-VAE volontariste haut	17%	52%	0%	11%	-28%	-28%	-25%	328%	-77%

Tableau 123 : Résultats des simulations sur le carré OS

Les premières lignes du tableau permettent de vérifier l'effet propre de l'augmentation de population, +10% en 2030 (par rapport à 2015) et +17% en 2050. Puisque la projection se fait à comportements constants on devrait trouver des variations de distance totale équivalentes pour le cas de la population éparpillée en 2050, alors que l'on trouve respectivement 6% et 11%. Ces chiffres résultent de la décomposition des comportements de mobilité par catégories socio-démographiques et motifs (actifs, scolaires, etc.). Or les projections Omphale que nous appliquons montrent une faible augmentation des actifs et des scolaires au profit d'une forte augmentation des plus de 60 ans (+ 44% en 2030, +75% en 2050).

Une première question est celle d'une amélioration éventuelle quand on passe d'un scénario « éparpillement » à un scénario « polarités » : on voit qu'en 2030 la variation de distance parcourue au total est quasi-identique (5%), mais elle s'accompagne d'un remplacement partiel de la voiture particulière comme passager (6% contre 8%) au profit de la marche à pied (13% contre 8%). L'effet sur les émissions de CO2 est toutefois marginal voire non significatif (5% contre 6%). En 2050 l'effet sur la distance totale est également faible, voire non significatif (9% contre 11%). Même si l'effet de redistribution sur la marche à pied est un peu plus fort (23% contre 14% d'augmentation des distances parcourues), l'effet sur la variation d'émission de CO2 reste marginal (9% contre 11%).

Nous testons ensuite l'effet des scénarios volontaristes TC en maintenant la population constante en 2015. On voit que l'effet sur les émissions de CO2 des scénarios TC bas (-2%) et haut (-5%) est marginal, voire dans la marge d'erreur, bien que l'augmentation de la distance parcourue en TC soit en apparence significative (respectivement 37% et 83%). Mais on part d'assez bas pour les TC (part modale globale de 6% en nombre de boucles et de 9% en km) et la diminution des kilomètres parcourus en voiture particulière (passager et conducteur) est de 2 à 8% seulement.

L'effet des scénarios vélo-VAE est très net. A population constante, le scénario bas induit une baisse de 17% des émissions de CO2 et le scénario haut une baisse de 33%. Ces baisses correspondent à des évolutions similaires des distances parcourues en voiture particulière (passager ou conducteur) et en transports collectifs, ce qui découle de notre mécanisme de réallocation des parts modales, et une augmentation nette du mode MAP+vélo (part multipliée par environ 2,5 et 4 respectivement).

L'effet des scénarios de covoiturage est également assez net. A population constante, le scénario de covoiturage bas induit une baisse de 6% des émissions de CO2 et le scénario haut une baisse de 16%. Ces baisses s'effectuent à mobilité constante sans réallocation des parts modales et ont le même effet qu'un scénario technologique d'émissions.

Enfin, les scénarios technologiques d'émissions sont ceux qui ont de loin le plus d'effet sur les émissions de CO2 : -31% dans l'hypothèse de la voiture « 2030 » et -63% dans l'hypothèse de la voiture « 2050 ».

Au passage, nous notons que la combinaison du covoiturage avec les scénarios technologiques d'émissions montre que les effets ne sont pas strictement additifs. Par exemple, la combinaison VP 2030 et covoiturage bas induit une baisse de 35% des émissions de CO2 alors que VP 2030 isolément induit une réduction de 31% et « covoiturage bas » isolément 6%. Il en est de même pour la combinaison VP 2050 et « covoiturage haut ». En

effet, l'effet propre du covoiturage (réduction des émissions par passager-km) s'amointrit quand les émissions par véhicules-kilomètres se réduisent elles-mêmes.

On peut se poser la question de savoir si l'évolution technologique prévisible des véhicules suffirait à atteindre les objectifs SNBC, sans avoir à mettre en œuvre des mesures comme la « localisation forcée » (polarités vs éparpillement) ou des changements de comportements de mobilité plus ou moins coûteux (socialement et financièrement). En projetant à la fois la population nouvelle en 2030 « éparpillée » et la seule évolution technologique des véhicules, la réduction des émissions de CO₂ est de 27%. Pour 2050 la réduction est de 60%. Ces performances sont donc insuffisantes.

Par la suite, nous testons des paquets de mesures qui seraient susceptibles d'atteindre les objectifs SNBC, compte tenu de l'augmentation prévisible de population. Les possibilités de combinaison sont nombreuses, mais compte tenu de l'inertie des comportements et du délai nécessaire à la mise en œuvre des mesures envisagées nous pouvons considérer que les scénarios « bas » relèvent de l'horizon 2030 et les scénarios « haut » de l'horizon 2050.

Dans le scénario où la population nouvelle d'ici à 2030 est « éparpillée » avec toutes les mesures actives, véhicule VP 2030, covoiturage volontariste « bas » et vélo-VAE volontariste « bas », la variation de CO₂ résultante est de -42%. La différence induite par la polarité est infime.

Dans le scénario où la population nouvelle d'ici à 2050 est « éparpillée » avec toutes les mesures actives, véhicule VP 2050, covoiturage volontariste « haut » et vélo-VAE volontariste « haut », la variation de CO₂ résultante est de -77%. Là encore la polarité n'induit pas de différence notable.

3.3.7 Conclusion : les enjeux pour le périurbain strasbourgeois

Les simulations montrent que l'on peut arriver en 2030 et en 2050 à se conformer aux objectifs de la SNBC si sont mises en œuvre des politiques volontaristes pour le covoiturage et le vélo, en accompagnement de l'évolution technologique anticipée des moteurs.

Par ailleurs, l'effet différencié des localisations résidentielles (polarités vs éparpillement) semble très marginal, dans le carré périurbain, du point de vue des indicateurs environnementaux liés à la mobilité. Mais il a un impact certain dans la redistribution des distances parcourues en faveur de la marche à pied (et d'autres modes de proximité comme le vélo dans un scénario volontariste vélo-VAE), ce qui n'est pas sans conséquence sur la qualité de vie des personnes concernées. On peut en outre conjecturer qu'un effort soutenu vers la « polarité » résidentielle produirait des effets plus marqués à plus long terme (au-delà de 2050).

Toutefois, il faut souligner une incertitude (qui s'ajoute aux autres !) dans le cadre de notre postulat de mobilité maintenue, à savoir l'incertitude sur l'évolution des distances parcourues. Une croissance de celles-ci, comme on a pu l'observer dans le passé à certaines périodes de croissance économique, pourrait rendre plus difficile l'atteinte des objectifs de la SNBC, surtout si l'embellie économique actuelle se confirme.

Malgré tout, l'efficacité des mesures envisagées suggère que leur mise en œuvre permettrait d'avancer dans la bonne direction. Mais l'évaluation du coût économique et social de ces mesures est une équation difficile.

4 SIMULATIONS DE FORMES URBAINES SUR STRASBOURG ET MULHOUSE

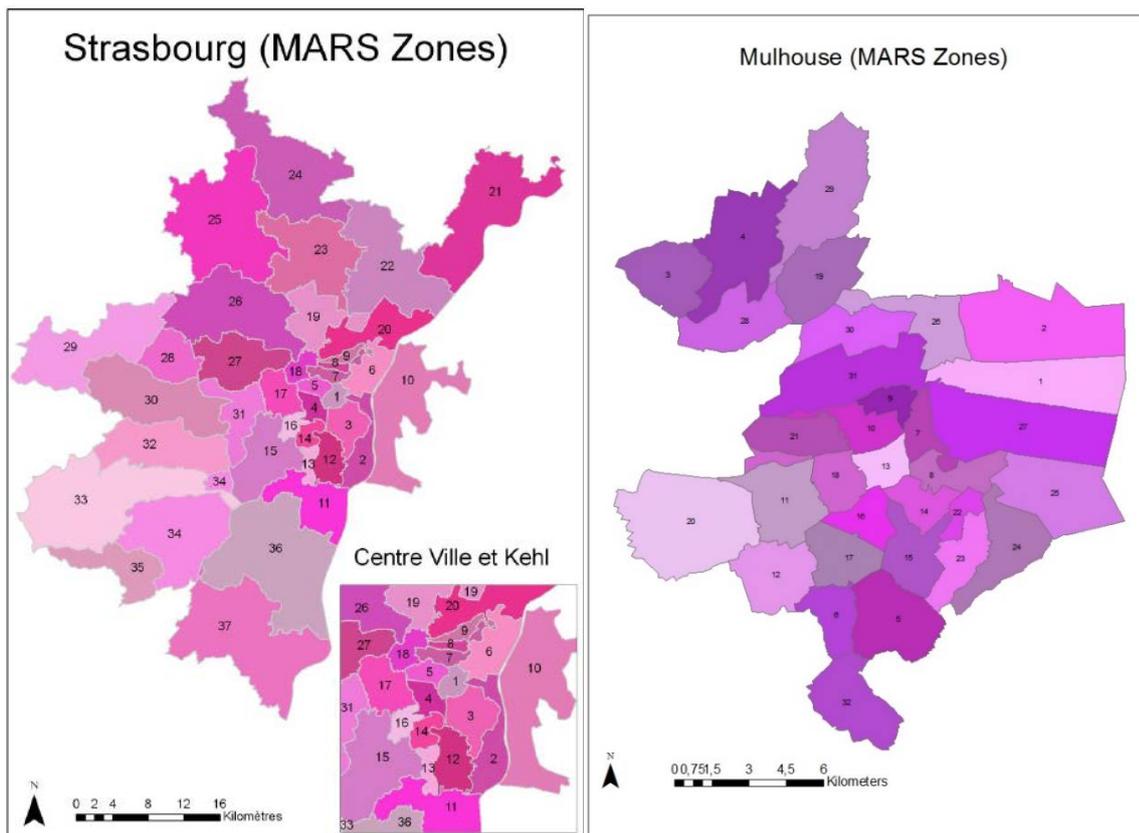
Le modèle MARS²⁷, utilisé par EIFER pour des travaux sur l'évaluation de l'impact énergétique du véhicule électrique sur les villes de Strasbourg et Mulhouse, a été utilisé dans le cadre de PERITHEL.

MARS est un modèle stratégique intégré simulant dynamiquement l'utilisation du sol et le transport. A partir du modèle déjà calibré sur ces deux villes, la simulation de scénarios de formes urbaines contrastées apportera des éléments de réponse sur l'impact énergétique de l'étalement urbain. Ce LUTI (Land Use and Transport Interaction) permet de modéliser les interactions existant entre l'occupation des sols (fonctionnalités) et le transport²⁸.

4.1 Simulation de la mobilité sous MARS

4.1.1 Cas d'étude

En parallèle des travaux menés par le LAET sur les trois carrés, EIFER s'est attaché à réaliser deux cas d'études avec le modèle MARS, sur les agglomérations de Strasbourg et Mulhouse. Les zones d'étude sont les suivantes (Figure 13).



²⁷ Développé par la Technische Universität Wien (TUW).

²⁸ Pour plus d'informations, contacter EIFER.

Figure 13 : Périmètres des cas d'étude

4.1.2 Scénarisation

Quatre configurations spatio-fonctionnelles « cibles » ont été définies de manière générique (Tableau 124), selon deux dimensions, l'une relative à la répartition de la population – et donc des logements, l'autre relative à leur densité. La dimension de répartition de la population oppose les polarités (concentration sur quelques pôles) à l'éparpillement (allocation de population au prorata de l'existant). La dimension de densité oppose l'extension de l'habitat en logement individuel à son intensification en logement collectif. Ces configurations sont dénommées Polarités / Extension, Polarités / Intensification, Eparpillement / Extension et Eparpillement / Intensification.

Densité / Distribution	Extension Habitat individuel autour des tâches urbaines	Intensification Habitat collectif dans la tâche bâtie principale
Polarités Création des nouveaux logements uniquement sur les pôles (prorata de la population initiale)	Etalement maîtrisé (PE)	Pôles compacts (PI)
Eparpillement Répartition égale des nouveaux logements sur les communes ou bâtis existants (prorata de la population initiale)	Habitat individuel éparpillé (EE)	Habitat collectif éparpillé (EI)

Tableau 124 : Rappel des configurations spatio-fonctionnelles définies pour la modélisation.

Deux horizons temporels sont considérés, l'un à 2030 et l'autre à 2042. Les scénarios intègrent des hypothèses technologiques quant aux consommations d'énergie unitaires (bâtiments et véhicules) et selon des leviers comportementaux, mais aussi des options de réhabilitation des logements ou d'aménagement urbain volontaristes. Le Tableau 125 présente les hypothèses considérées pour l'inclusion du véhicule électrique²⁹, appliquées pour tous les scénarios et toutes les configurations.

Parc automobile	Diesel	Essence	Hybride rechargeable diesel	Hybride rechargeable essence	Électrique
2012	62 %	38 %	0 %	0 %	0 %
2030	24 %	62 %	4 %	6 %	4 %
2050	4 %	71 %	6 %	12 %	7 %

Tableau 125 : Hypothèses d'évolution de la flotte de véhicules particuliers, source : Thema, projections à partir du modèle de parc du CGDD

Ces configurations seront ensuite évaluées (cf. tâche 4) sur les différents territoires d'étude selon différents scénarii de changement de part modal (méthode d'imitation).

²⁹ Source : Théma, Projections de la demande de transport sur le long terme, 2016.

L'important est, dans notre démarche, de comparer différentes configurations spatiales à scénarios technologiques et comportementaux donnés.

4.2 Simulation de l'habitat (logement)

4.2.1 Scénarisation

L'évolution des nombres d'habitants et de logements à 2042 a été définie pour l'ensemble des périmètres à partir de la base de données de l'INSEE³⁰. Les estimations ont été calculées à partir de l'échelle du département et extrait à chaque périmètre de l'étude (représenté en pourcentage). Il est à noter que l'agglomération mulhousienne est en perte d'attractivité et perd de la population.

Les configurations spatio-fonctionnelles par différentes formes de croissance urbaine. En effet, selon les scénarios de configuration, les zones urbanisables sont différentes (Tableau 126).

	Extension	Intensification
Pôles	Pour les 4 pôles: <ul style="list-style-type: none"> • Zones urbanisées: ouvertes • Zones à urbaniser: ouvertes • Autres zones: fermées 	Pour les 4 pôles: <ul style="list-style-type: none"> • Zones urbanisées: ouvertes (fortes densité) • Zones à urbaniser: fermées • Autres zones: fermées
Eparpillement	Pour toutes les zones: <ul style="list-style-type: none"> • Zones urbanisées: ouvertes • Zones à urbaniser: ouvertes • Autres zones: fermées 	Pour toutes les zones: <ul style="list-style-type: none"> • Zones urbanisées: ouvertes (fortes densité) • Zones à urbaniser: fermées • Autres zones: fermées

Tableau 126 : Scénarios d'urbanisation selon la configuration

Rappelons que, s'appuyant sur le SCOTERS, un pôle principal (Strasbourg) et 3 pôles secondaires (10 mille habitants : Obernai, Brumath, Erstein) ont été définis (Figure 14). Dans ces pôles, le nombre de logements augmentent de 58% pour Strasbourg et 16% pour Mulhouse entre 2007 et 2042.

³⁰ Horizon des projections OMPHALE utilisées pour l'exercice. <https://www.insee.fr/fr/information/1303412>

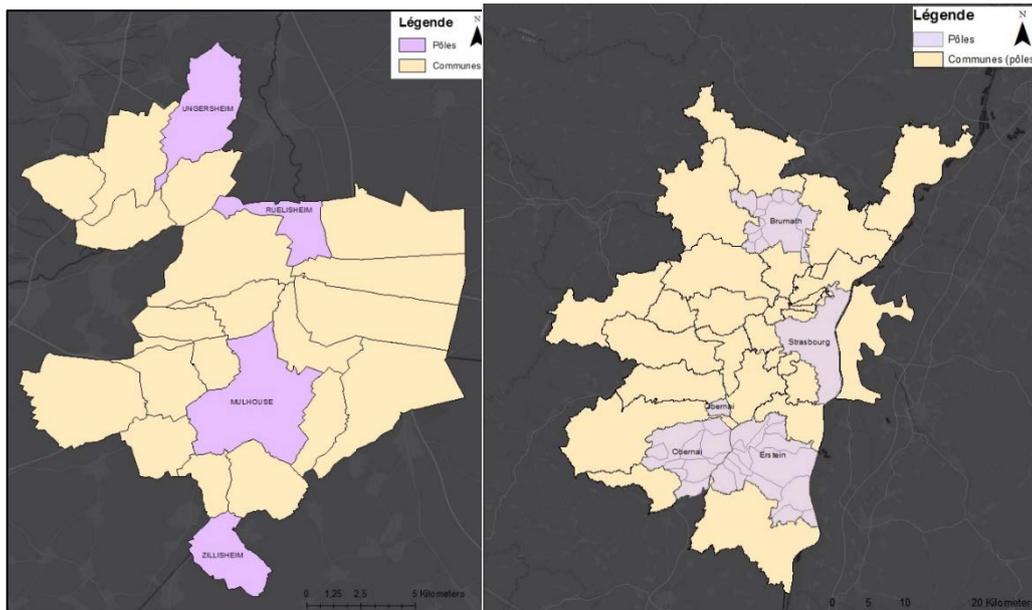


Figure 14 : Pôles pour chacun des périmètres

4.2.2 Simulations

De tous premiers scénarios ont été testés et leurs résultats ont été présentés au début du projet PERITHEL. Les discussions ont montré que des scénarios plus contrastés que les initiaux devaient être explorés, et que des modifications devaient être apportées au modèle MARS (comme prévu dans la convention entre EIFER et l'Université de Vienne). Ces améliorations ont été réalisées et ces modèles ont été utilisés pour produire les résultats présentés dans ce document.

Dans un premier temps, la scénarisation mise en place s'est appuyée sur la distinction spatio-fonctionnelle décrite dans le précédent paragraphe, i.e. aucune politique locale de transport n'a été appliquée. Les effets simulés sont donc fonction de l'implantation de nouveaux résidents, dont le comportement est calqué sur celui de la population préexistante (selon le zonage défini précédemment).

Le nombre de kilomètres parcourus par jour en voiture particulière (sans distinction entre voitures thermique ou électrique) a tendance à croître pour toutes les configurations, conformément à l'augmentation de population simulée de l'ordre d'entre 10 et 20% pour Strasbourg (Tableau 127) et de plus de 10 % pour Mulhouse (Tableau 129). Dans les deux cas, les scénarios relatifs à des Polarités présentent une croissance plus faible que les scénarios d'Étalement. A l'horizon 2050, 9 points de kilomètres supplémentaires sont réalisés dans les scénarios d'Étalement, par rapport aux scénarios de Polarités. La distinction entre Extension et Intensification se réfère à une différence moins sensible, de l'ordre de 1% à 2030 et de 3% à 2050. Mulhouse présente une particularité : les scénarii Polarité à l'horizon 2030 présentent plus de kilomètres qui s'explique en grand partie par un report modal vers les véhicules électriques.

km	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	11.012.659	+8%	+7%	+14%	+11%
Eparpillement		+14%	+12%	+23%	+20%

Tableau 127 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière (Strasbourg)

km	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	453.637	+9%	+8%	+13%	+12%
Eparpillement		-30%	+3%	-28%	+6%

Tableau 128 : Kilomètres parcourus par jour en TC - pkm (Strasbourg)

Les simulations montrent que l'évolution des passagers kilomètres en TC est très variable selon les configurations. En effet, si les deux configurations de l'axe Polarités présentent une augmentation de 12% à 13%, les résultats des configurations de l'axe Eparpillement divergent. Le cas le plus favorable à l'étalement urbain mène à une diminution forte de 28% alors que les kilomètres réalisés en intensification croissent de 6%.

km	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.393.656	+10%	+8%	+12%	+13%
Eparpillement		+7%	+7%	+13%	+11%

Tableau 129 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière (Mulhouse)

Par ailleurs, la comparaison des 4 configurations démontre que l'impact de la discrimination spatio-fonctionnelle demeure assez limité sur le bilan de CO₂. En effet, seul l'axe Polarités VS Etalement permet une distinction notable, bien que peu significative. Toutefois une différence apparaît entre les deux cas d'étude. Ainsi, à comportements de mobilité fixes pour Strasbourg, les gains de CO₂ se traduisent dans les scénarios de polarisation et d'intensification puisqu'à l'horizon 2050, la configuration Polarité alliée à une Intensification permet de réduire de 65% les émissions de CO₂, quand son association à Etalement se réfère à une baisse de 64%. Pour les configurations d'éparpillement (Extension et Intensification), les impacts sont respectivement de -61 et -62%. Tandis que pour le cas de Mulhouse, nous observons une réduction proche de 30% des émissions de CO₂, à l'horizon 2030, avec une diminution plus forte pour les scénarios d'éparpillement. Toutefois, à l'horizon 2042, toutes les configurations mènent à une réduction de 64% des émissions de CO₂.

CO ₂	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	592,134	-34%	-34%	-64%	-65%
Eparpillement		-30%	-31%	-61%	-62%

Tableau 130 : Bilan CO₂ total (Strasbourg)

CO ₂	2007	2030		2042	
		Expansion	Intensification	Expansion	Intensification
Pôles	142,266	-32%	-33%	-64%	-64%
Eparpillement		-34%	-34%	-64%	-64%

Tableau 131 : Bilan CO₂ total (Mulhouse)

D'après ce constat, le moteur principal de la réduction de l'impact en termes de pollution réside :

- Dans les améliorations technologiques uniquement pour le cas de Mulhouse (par ailleurs, zone de faible de polarité) et notamment la diffusion de la voiture peu émettrice de CO₂ (Vision ADEME 2050) ;
- Dans les configurations spatiales, en plus des améliorations technologiques, pour le cas de Strasbourg, qui est plus diversifié.

Dans un deuxième temps, la méthode de définition de **potentiel de report modal par imitation**, appliquée aux trois carrés, a été transposée au périmètre d'étude de Strasbourg. Ce potentiel permet de définir les politiques publiques à appliquer pour atteindre une distribution modale intégré ce potentiel d'imitation pour motif domicile-travail.

En se basant sur les fichiers MobPro 2013, le potentiel de navetteurs domicile-travail extra-communaux en transports en commun (tous modes) représente 51% des navettes accomplies en voitures particulières, en se référant à des déplacements (origine-destination) réalisables en transport en commun. En effet, d'après le fichier MobPro 2013, la part modale TC des navettes est de 12% et le processus d'imitation doit permettre d'atteindre 63%. Sur le périmètre de Mulhouse, le potentiel des navettes réalisées en voiture reportables sur les TC est de 73%.

Pour les besoins des simulations sous MARS, logiciel qui intègre tous les déplacements et tous les motifs, ces potentiels ont été redressés avec des analyses EMD. Il a été considéré que les navettes équivalaient aux déplacements liés au travail, ce qui ne représente qu'un faible pourcentage de l'ensemble de la mobilité des habitants.

Finalement, sur les deux cas d'études alsaciens, ce potentiel d'imitation porte sur un report modal de 7% pour Strasbourg et 9% sur Mulhouse.

Dans le modèle MARS, les leviers d'action s'appliquent aux bus, voitures mais également à la possibilité de développer le télétravail. Concernant les transports publics, les coûts, les fréquences, la qualité, la création de voie dédiée et la promotion peuvent faire l'objet de modifications. En parallèle, le taux d'utilisation de la voiture particulière est affecté par les variations de capacité des routes, nombre de places de parking, péages et taxes de carburant.

Les scénarios proposés pour les trois carrés ne peuvent pas être tous appliqués aux cas d'études alsaciens. Le choix et l'abandon de scénarios de simulations sont expliqués ci-après.

- Le modèle MARS n'inclut pas pour l'instant le levier **covoiturage** dans la mise en place de politiques
- Le levier vélo et VAE ne peut être intégré uniquement en changement la vitesse de déplacement. Ainsi un **scénario vélo – VAE** a été produit avec une vitesse portée à 20km/h. Le changement de la vitesse de déplacement à vélo pour intégrer le VAE ne change absolument pas le poids des indicateurs, et notamment les parts modales, par rapport au scénario de base. Une meilleure prise en compte, dans le modèle MARS, de

ces modes de transports dans les politiques de transport doit être envisagée à long-terme.

- Les leviers d’actions permettent d’intervenir principalement sur la voiture particulière et les transports en commun. Ainsi des **scénarios TC** s’appuyant sur la méthode d’imitation sont réalisables. Les politiques mises en place, dans un premier temps, concernent l’ensemble des leviers d’actions possibles par le modèle. Pour atteindre l’objectif de part modale donné par la méthode d’imitation, il est nécessaire de pousser au maximum les leviers disponibles pour les actions sur les transports en communs et les véhicules particuliers. Ainsi, pour les deux cas d’études, les politiques sont appliquées sur une période de 25 et 29 ans, respectivement pour Strasbourg et Mulhouse. Concernant les transports publics, son coût est maintenu au même tarif, les fréquences sont augmentées de 100%, la qualité de 20%, la création de voie dédiée est incluse ainsi que des mesures de sensibilisation. En parallèle, le taux d’utilisation de la voiture particulière est affecté par les variations de capacité des routes réduite de 20%, nombre de places de parking réduit de 50%, péages portés à 10€ et taxes de carburant augmentés de 500%.

4.3 Analyses des résultats de scénarios pour Strasbourg et Mulhouse

Les indicateurs proposés pour cette évaluation ont pour but de fournir des éléments de diagnostic environnemental, économique et social sur les différentes formes urbaines obtenues.

Au plan environnemental, pour le transport, il s’agit de la consommation d’énergie et des effets environnementaux directs liés essentiellement à la pollution atmosphérique et aux émissions de gaz à effet de serre. Notamment nous n’incluons pas le bruit, ni les facteurs d’exposition de la population (par exemple les riverains pour le bruit), ni bien sûr la dispersion des polluants et d’autres effets plus larges ou indirects.

4.3.1 Mobilité

4.3.1.1 Scénario Vélo – VAE

Les scénarios de promotion de la diffusion des VAE se basent sur un changement de vitesse moyenne de déplacement pour ce mode de transport, passant ainsi de 15 km/h à 20 km/h. Le scénario EE est le seul à ne pas présenter de réaction face à ce changement de paramètre pour l’utilisation des vélos. En revanche, le scénario PI permet d’atteindre une augmentation de 5% de la part modale concernée. Les deux autres scénarios sont tout de même intéressants car 4% des déplacements ont été reportés sur le mode vélo, à l’horizon 2042, par rapport à la référence 2007.

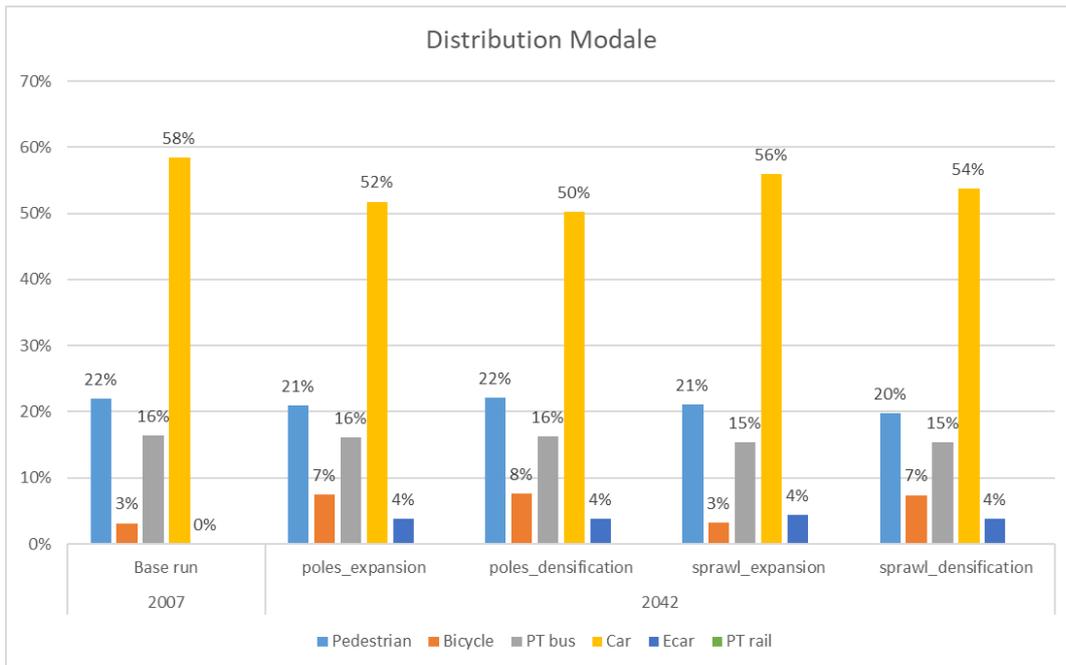


Figure 15 : Distribution modale (Strasbourg)

Dans les simulations de Mulhouse, l'application du scénario VAE ne permet pas de conclure à un report sur le mode concerné ; la distribution modale n'est que peu modifiée à l'horizon 2042.

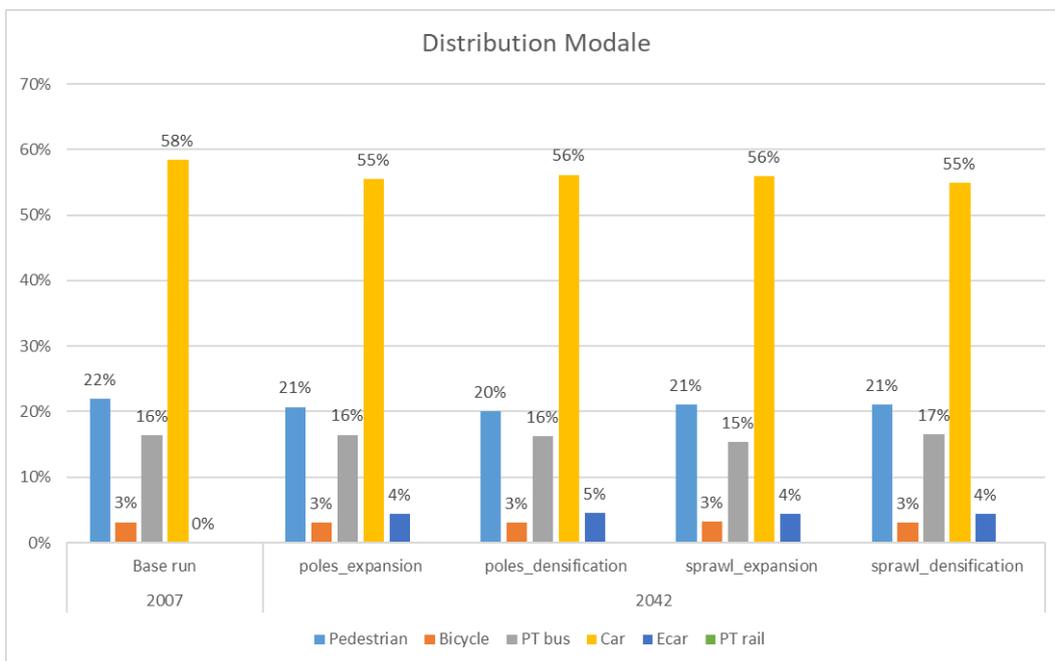


Figure 16 : Distribution modale (Mulhouse)

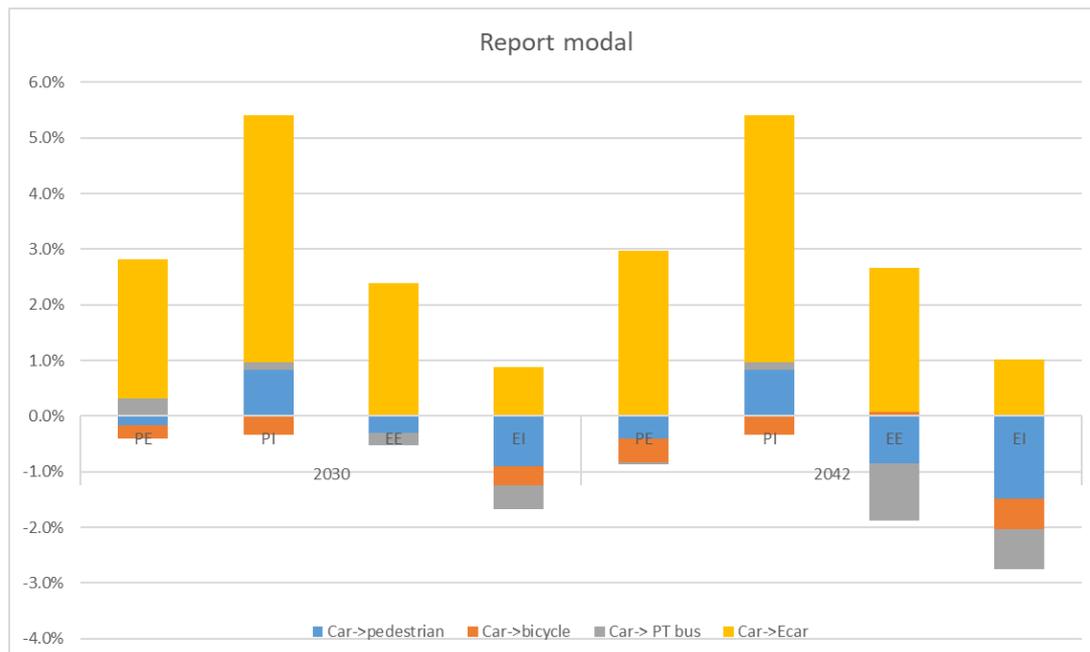


Figure 17 : Report modal au cours du temps (Strasbourg)

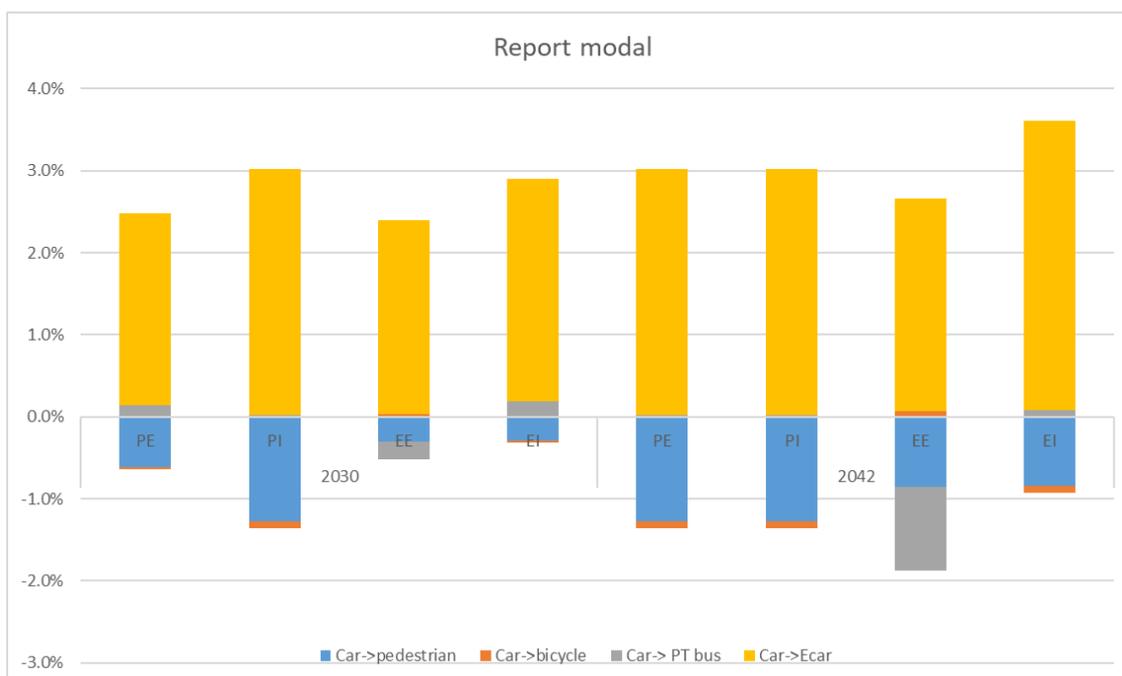


Figure 18 : Report modal au cours du temps (Mulhouse)

Les deux agglomérations étudiées présentent des profils globalement différents. Bien que les évolutions concernent principalement le report **véhicule thermique vers véhicule électrique**, un report modal vers les modes doux ou les transports en commun est observable dans le cas d'étude de Strasbourg (Figure 17), contrairement aux résultats Mulhousiens où seul le mode piéton présente une augmentation (Figure 18).

Les Tableau 132 et Tableau 133 présentent l'évolution kilométrique pour les deux agglomérations. La comparaison avec les simulations de référence (Tableau 127 et Tableau 129) mène au constat que les valeurs sont identiques : il ne s'opère donc pas de report modal à

partir du véhicule particulier vers un quelconque autre mode de transport en raison d'une politique incitative de diffusion du VAE.

km	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	11.012.659	+8%	+7%	+14%	+11%
Eparpillement		+14%	+12%	+23%	+20%

Tableau 132 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière – scénario VAE (Strasbourg)

km	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.393.656	+10%	+8%	+12%	+13%
Eparpillement		+7%	+7%	+14%	+11%

Tableau 133 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière – scénario VAE (Mulhouse)

4.3.1.2 Scénario TC

La mise en place de politiques de transport fortes se confronte très rapidement à ses limites puisque l'évolution de la part modale du TC est peu ou prou la même à l'horizon 2050 (Tableau 134 et Tableau 135). Une légère différence entre les axes Polarité et Eparpillement est à noter, en particulier pour le cas Mulhousien. Ce dernier élément s'explique principalement par la réduction de la population dans cette commune. Ainsi, seul les configurations de type Eparpillement voient un report modal, même si celui-ci est largement inférieur à celui escompté par l'imitation.

Report modal vers les TC	2030		2042	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	+9%	+9%	+9%	+9%
Eparpillement	+8%	+8%	+8%	+8%

Tableau 134 : Evolution de la part modale TC (Strasbourg)

Report modal vers les TC	2030		2042	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	-2%	-2%	-1%	-1%
Eparpillement	+3%	+3%	+3%	+4%

Tableau 135 : Evolution de la part modale TC (Mulhouse)

Ainsi, le véhicule particulier est délaissé au profit d'autres modes de transport, particulièrement le transport en commun pour les configurations de Polarité et ce, quel que soit le scénario (Figure 19 et Figure 20).

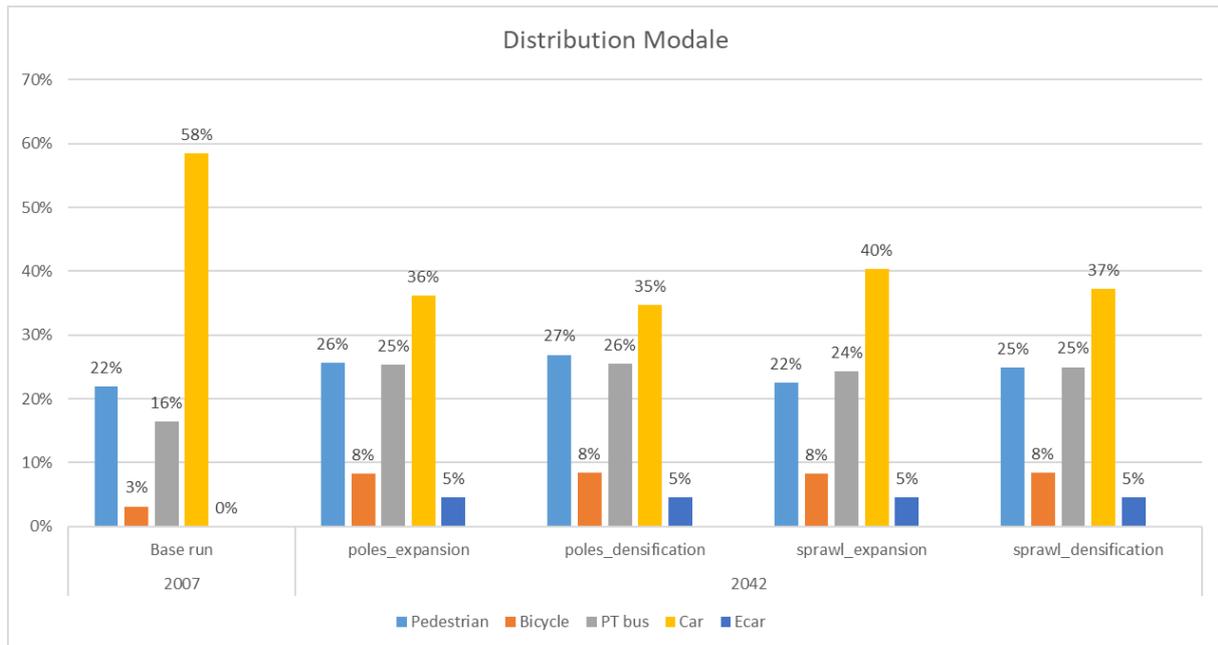


Figure 19 : Distribution modale (Strasbourg)

En effet, dans l'étude de Strasbourg, la proportion de voiture décroît d'environ 18% minimum pour la configuration la plus extensive (EE), et jusqu'à 23% pour la plus dense (PI). Dans ces deux cas, les transports en commun bénéficient majoritairement de ce report –environ +9%-, les vélos en tirant également parti avec un gain de 5%. Au contraire, la part modale de la marche à pied ne réagit pas de façon homogène selon les quatre configurations. Le gain peut atteindre 5% avec la situation la plus dense (PI) alors que la part modale est fixe pour la configuration EE. Une densification moyenne mène à une croissance de 3 à 4% de la part modale de la marche au sein des déplacements.

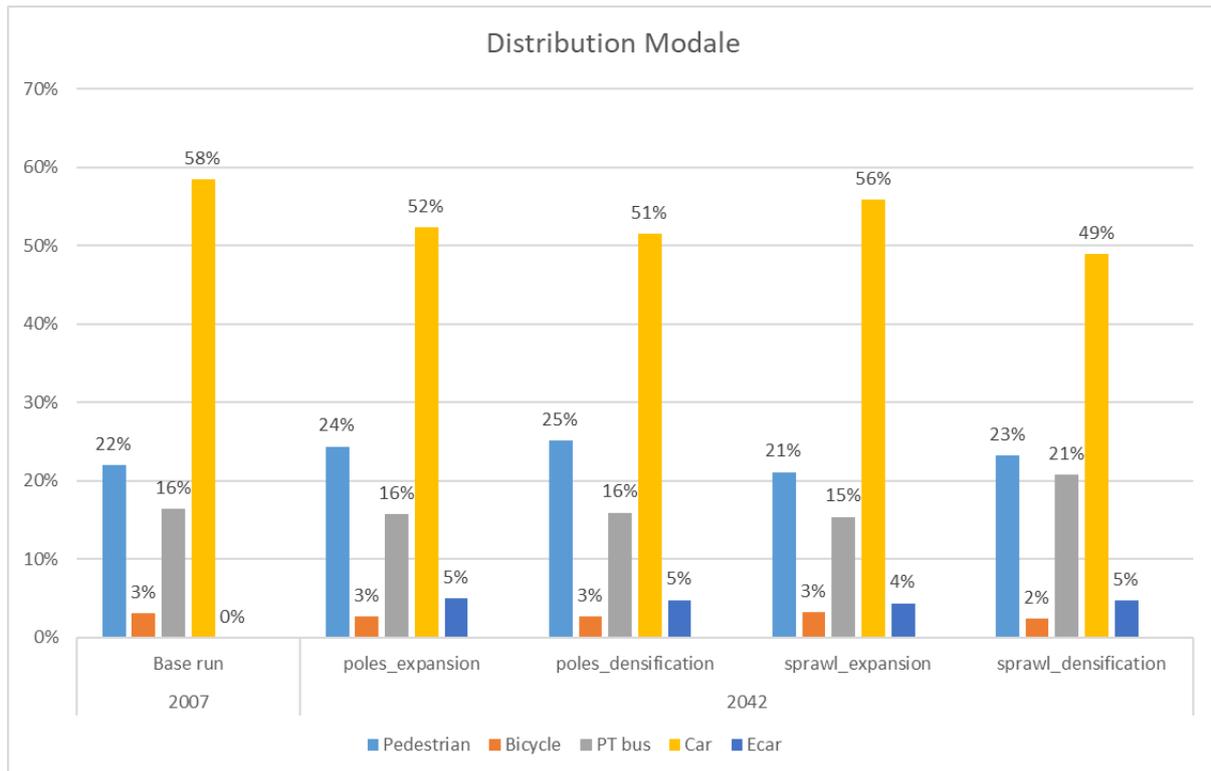


Figure 20 : Distribution modale (Mulhouse)

La réaction du cas mulhousien à la simulation se révèle différente de l'évolution de Strasbourg.

Bien que le scénario PI permette d'atteindre une situation intéressante, c'est une configuration avec densification moyenne -EI- qui présente la plus importante réduction en termes d'utilisation de la voiture, avec -9% quand seulement -7% sont constatés pour la simulation de la configuration PI. Par ailleurs, ce premier scénario permet d'atteindre une évolution de +5% dans l'utilisation des transports en communs, quand les configurations de pôles ne réagissent pas à la simulation (la part de transport en commun demeurant à 16%). Le scénario EE mène, quant à lui, à une diminution de la part des transports en commun ainsi que la marche à pied. La réduction de la part modale de la voiture thermique est absorbée par la croissance de la voiture électrique. Enfin, la part modale de la marche à pied n'est globalement que peu affectée par les simulations, l'évolution étant contenue entre 1% et 3%.

Par ailleurs, les politiques mises en place permettent de réduire de manière conséquente le nombre de kilomètres parcourus pour les deux cas d'études (Tableau 136 et Tableau 138). De même, dans les deux cas, les configurations Polarité et Intensification ont plus d'impacts que ceux Eparpillement et Intensification. La spécificité du cas Mulhousien se lit une nouvelle fois dans cet indicateur qui montre encore une domination du véhicule particulier, celle-ci se traduisant par une légère augmentation des kilomètres parcourus.

Ainsi, la configuration spatiale dense couplée à des politiques en faveur des transports en commun, et en défaveur de la voiture particulière, permet de réduire les kilomètres parcourus ; ce qui doit avoir un impact sur les indicateurs environnementaux.

km	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	11.012.659	-11%	-12%	-10%	-13%
Eparpillement		-4%	-7%	-1%	-7%

Tableau 136 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière - Veh.km (Strasbourg)

km	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	453.637	+108%	+108%	+148%	+151%
Eparpillement		+101%	+103%	+134%	+146%

Tableau 137 : Kilomètres parcourus par jour en TC- pkm (scénario TC, Strasbourg)

La scénarisation TC vise à augmenter les déplacements via les moyens de transport en commun. Par construction, il est donc naturel que l'évolution des passagers kilomètres soit significative. Ainsi, les augmentations oscillent entre 134% et 151%. Si les configurations PE et EI fournissent des résultats proches (configurations moyennement contraignantes en termes d'implantation de l'habitat), la configuration la plus contraignante fournit l'augmentation la plus importante alors que la configuration la moins oppressive atteint 17% de moins à l'horizon 2042.

km	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.393.656	+3%	+2%	+3%	+4%
Eparpillement		-2%	-2%	+1%	-2%

Tableau 138 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière - Veh.km (Mulhouse)

Toutefois, cette réduction du nombre de kilomètres parcourus est à mettre en parallèle avec l'augmentation du nombre de déplacements. De la même manière, les évolutions du cas d'étude de Strasbourg (Tableau 139) sont plus marquées que pour celui de Mulhouse (Tableau 140).

Déplacements	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.651.095	+12%	+12%	+19%	+21%
Eparpillement		+11%	+13%	+18%	+21%

Tableau 139 : Nombre de déplacements total (Strasbourg)

Déplacements	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	1.200.863	+3%	+3%	+7%	+4%
Eparpillement		+9%	+7%	+16%	+12%

Tableau 140 : Nombre de déplacements total (Mulhouse)

4.3.2 Evolution socio-économique

Dans les sections suivantes, les cas d'étude de Strasbourg et Mulhouse sont analysés séparément. En effet, les territoires sont disparates aussi bien en termes de surface que d'habitants, ce qui induit un biais important lors des comparaisons, notamment lorsque les valeurs sont présentées en absolu.

Pour des raisons de lisibilité du présent rapport, le scénario VAE est considéré comme étant équivalent à la référence pour les aspects kilométriques et n'est donc pas discuté.

4.3.2.1 Coûts du logement

L'analyse de l'évolution du coût du logement, par zone, n'est pas une simulation résultant de MARS. Au contraire, elle se réfère à un paramètre qui est variable dans le modèle et permet d'atteindre les niveaux de populations souhaités, selon les zones et les configurations spatio-fonctionnelles. Ainsi, certaines évolutions peuvent paraître élevées ou se localiser en des zones qui présentent rarement ce schéma économique, car les hypothèses des configurations sont très manichéennes et leur implémentation dans l'outil nécessite des contraintes d'urbanisme –sinon irréalistes- très oppressives.

Coûts	2030		2042	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	-8%	-8%	-8%	-9%
Eparpillement	-9%	-8%	-12%	-13%

Tableau 141 : Evolution des coûts de logement (Strasbourg)

Les évolutions cumulées sur l'ensemble du territoire d'étude ne permettent pas de révéler une distinction importante entre les configurations, à l'exception de l'horizon 2042 qui présente une différence de 4 points entre les axes de polarité et d'éparpillement.

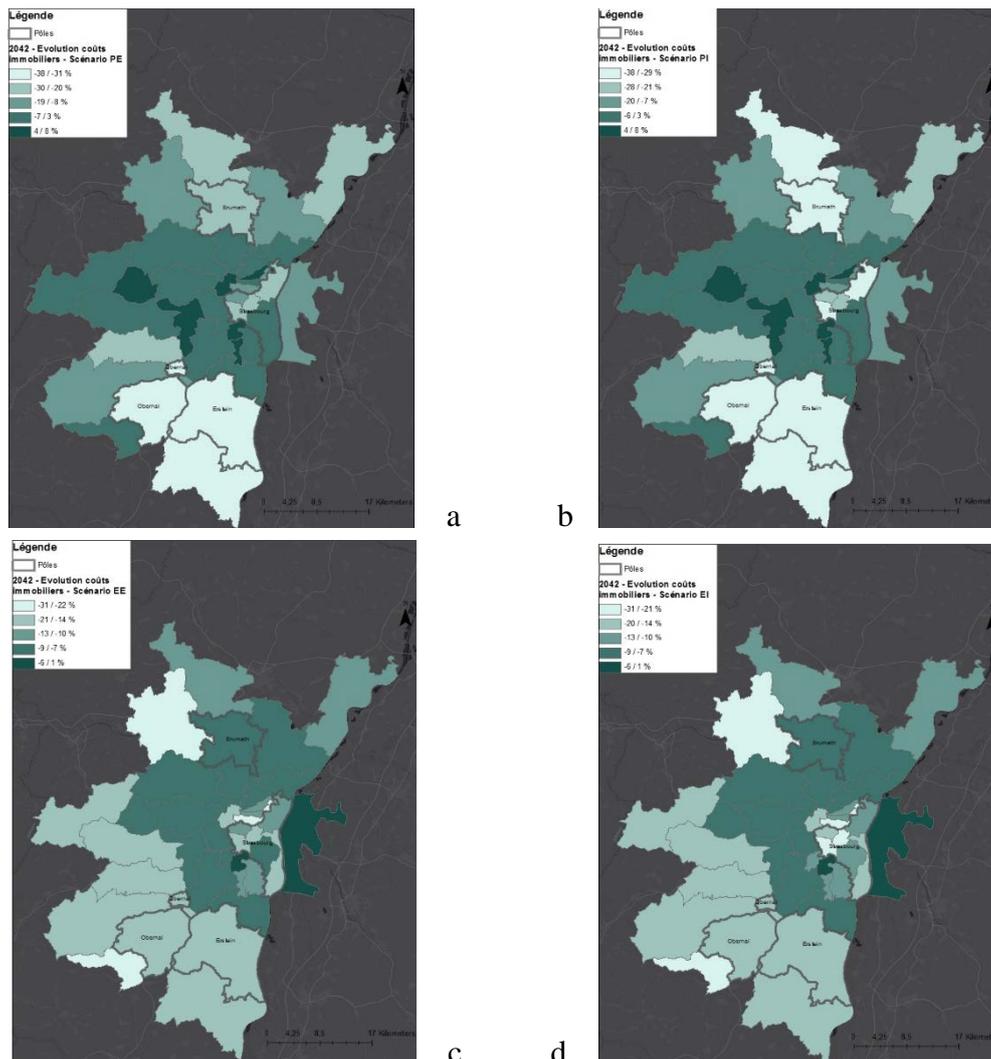


Figure 21 : Evolution des coûts de logement entre 2007 et 2042, pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (Strasbourg)

Par construction de l'outil MARS, les coûts de logement permettent d'orienter les migrations résidentielles vers les zones à peupler. Ainsi, un fort contraste est observable dans la configuration PI, car celle-ci impose aux nouveaux résidents de se localiser dans les pôles uniquement. Ceux-ci se voient donc attribuer un coût de logement diminué afin d'être particulièrement attractif (zones claires de la Figure 21 (b)). L'autre scénario de polarité (a) présente également un contraste mais moins marqué, les habitants ayant la possibilité de se localiser dans d'avantage de zones constructibles, au sein des pôles. Par ailleurs, en compensation, les zones non-ouvertes à l'afflux de nouveaux résidents voient leur tarif augmenter jusqu'à +8% alors que les configurations d'éparpillement (c et d) ne présentent qu'une croissance de 1% du prix initial. Ces deux configurations ne permettent pas de mettre en évidence un contraste lié à la localisation des pôles et les valeurs extrêmes sont moins exacerbées, plus cohérentes avec les règles d'urbanisme « réelles ».

Un comportement similaire a été observé sur l'agglomération de Mulhouse, avec des évolutions de prix menant à une localisation orientée des nouveaux résidents.

4.3.2.2 Accessibilité

L'indicateur proposé, en minutes, permet d'observer les caractéristiques de déplacements à partir d'une zone et vers les emplois ; il se base sur un calcul gravitaire (nombre d'emplois pondéré par les coûts généralisés d'accès, par mode de transport).

L'accessibilité mesurée dans cette étude n'est pas une probabilité d'accéder à une zone grâce à un mode en commun ; elle reflète l'utilisation des moyens disponibles ainsi que la capacité de l'utilisateur à réaliser un déplacement selon le réseau. Par conséquent, une valeur croissante de l'indicateur d'accessibilité peut mettre en lumière non une absence de chemin, mais une utilisation accrue du réseau et des déplacements facilités, menant à des distances plus longues (et donc à des durées supérieures). En revanche, une valeur très élevée (plus de 200mn) dénote bien d'une absence d'infrastructure adaptée ou d'une quasi impossibilité de déplacement à partir de la zone et vers les emplois des habitants, via le mode de transport proposé.

Dans les cartes ci-dessous, sont présentées en premier lieu les accessibilités par mode de transport, à l'année initiale, puis un comparatif par configuration, sans et avec la scénarisation des politiques en faveur des transports en commun. Les valeurs d'accessibilité étant trop variées pour être homogénéisées pour tous les modes de transport, chaque carte possède ses propres plages de valeurs par durée de déplacement, indiquées dans la légende.

Une attention particulière a été portée à l'évolution de l'accessibilité via les bus, en concordance avec le scénario en faveur des transports en commun.

a) Strasbourg

D'après la Figure 19, les temps d'accessibilité, quel que soit le mode de transport choisi, ne dépassent jamais 92mn –soit 1h30- pour le bus. Les zones où se localisent les habitants qui réalisent les temps de déplacements les plus longs pour accéder à leur emploi, sont excentrées pour le véhicule particulier et le bus ; alors que les zones centrales émettent d'avantage de déplacements longs pour le vélo et la marche à pied. Les pôles ne sont pas identifiés par leur accessibilité.

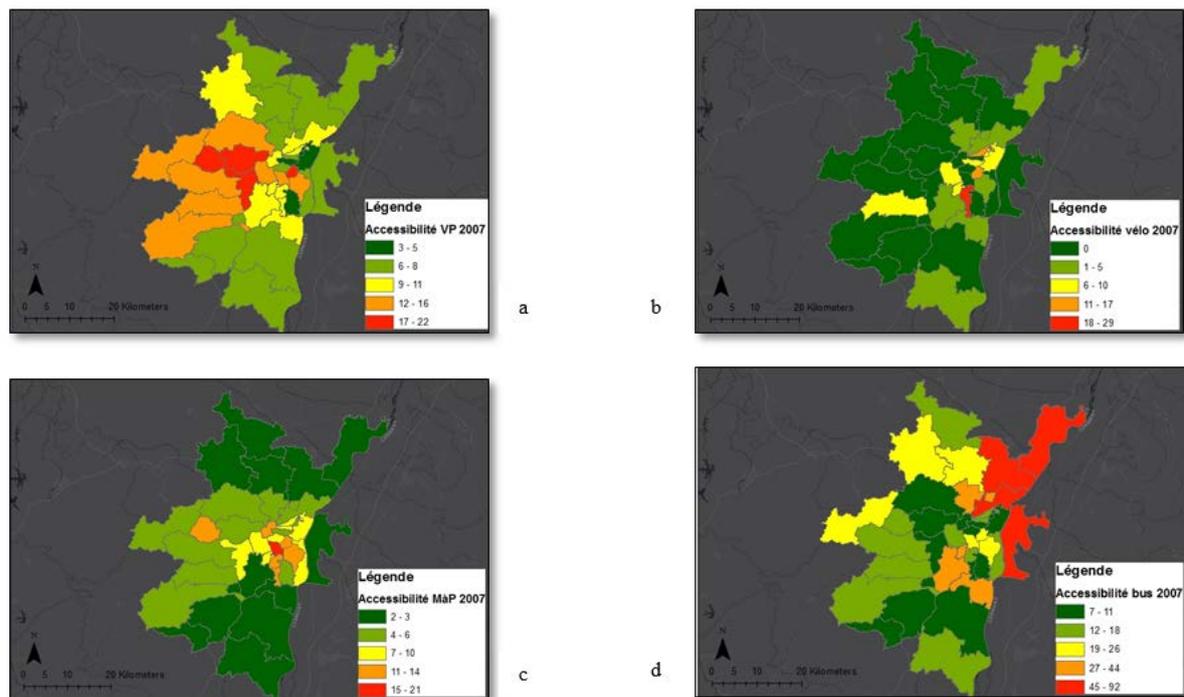


Figure 22 : Diagnostic territorial d'accessibilité 2007 pour la voiture particulière (a), le vélo (b), la marche à pied (c) et le bus (d) (Strasbourg)

Dans les Figure 23 et Figure 24, seul l'aspect bus est considéré, afin de tester l'impact des différentes configurations, toutes choses égales par ailleurs.

L'examen de la prospective à l'horizon 2042, sans inclusion de politique de transport en faveur des modes vertueux d'un point de vue environnemental, présente un profil relativement proche de l'état initial. En effet, les zones centrales émettent toujours des déplacements relativement plus longs que les zones périphériques. La répartition des plages de valeurs est globalement la même selon toutes les cartes. Enfin, l'indicateur d'accessibilité ne semble pas non plus affecté par l'aspect polarisation.

Cependant, les durées de déplacement sont légèrement allongées pour les zones où les déplacements sont les plus longs, comme indiqué dans le Tableau 142.

Accessibilité	2042	
	Extension	Intensification
Pôles	+14% (a)	+18% (b)
Eparpillement	+19% (c)	+10% (d)

Tableau 142 : Augmentation des temps de parcours pour les zones d'où sont émis les déplacements les plus longs (Strasbourg)

Il est à noter que la zone de Kehl (Allemagne) est particulièrement difficile à appréhender en raison d'un manque de connaissance et de projets actuellement en cours de réalisation.

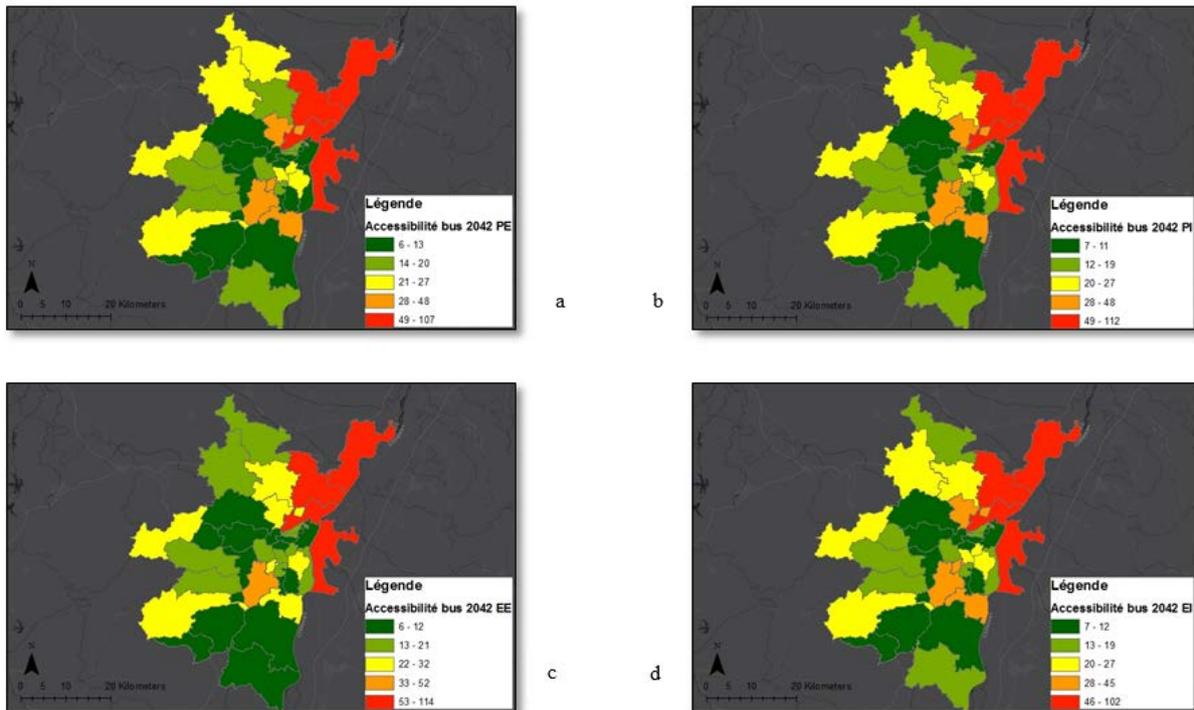


Figure 23 : Accessibilité à l'horizon 2042 pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (Strasbourg)

Une comparaison est proposée, en Figure 24, afin d'appréhender l'impact de la scénarisation des politiques de transport en commun.

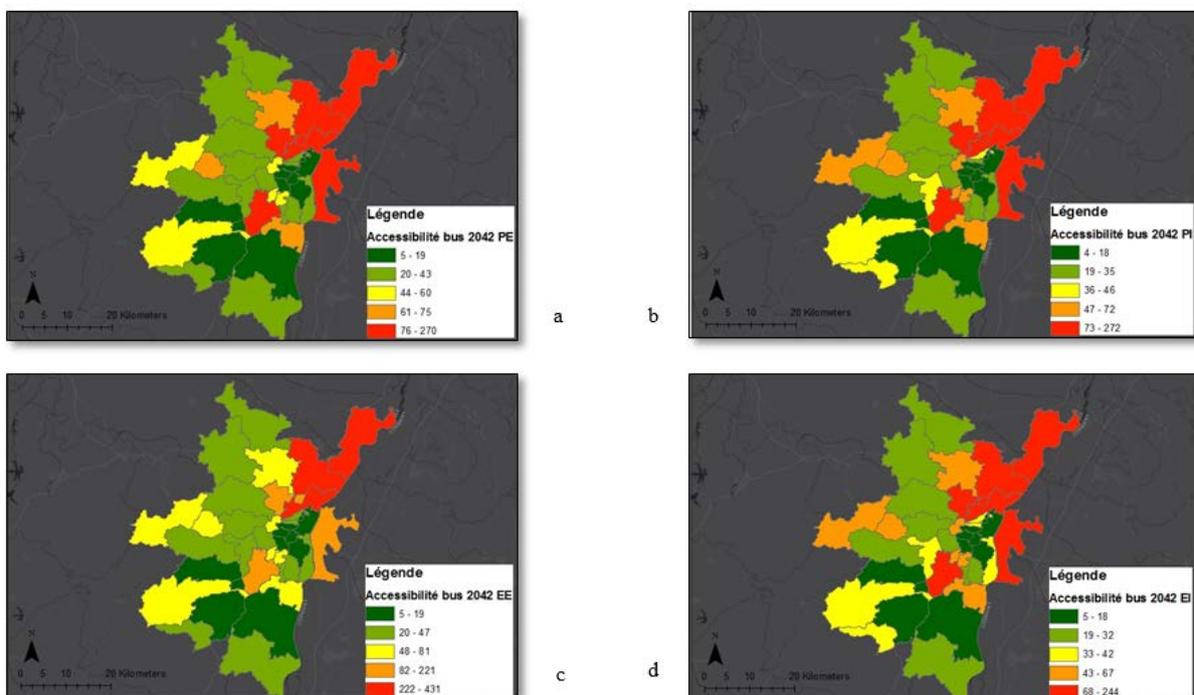


Figure 24 : Accessibilité à l'horizon 2042 pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (scénario TC, Strasbourg)

Les temps de parcours augmentent considérablement pour toutes les configurations ; en particulier, la configuration EE (c) présente une croissance de près de 80% par rapport à

l'année 2007. Globalement, les temps d'accessibilité sont donc supérieurs par rapport à la simulation précédente, avec des plages de valeurs étendues et une répartition géographique peu évolutive.

Plusieurs conclusions peuvent en découler : soit les transports en commun deviennent extrêmement attractifs et les habitants reportent leurs déplacements sur ce mode de transport ; soit l'usage de la voiture particulière est sanctionné par les mesures prises et les usagers deviennent captifs des transports en commun ; soit le modèle MARS a été poussé à l'extrême dans sa scénarisation pour atteindre le report modal calculé par imitation, et les valeurs obtenues ne sont qu'un paramètre mathématique, ne reflétant aucun comportement social. Le taux de déplacements relativement élevé réalisés en transport en commun à l'état initial peut expliquer cette dernière hypothèse. Par ailleurs, le rôle des pôles n'est pas mis en exergue dans ce cas d'étude.

b) Mulhouse

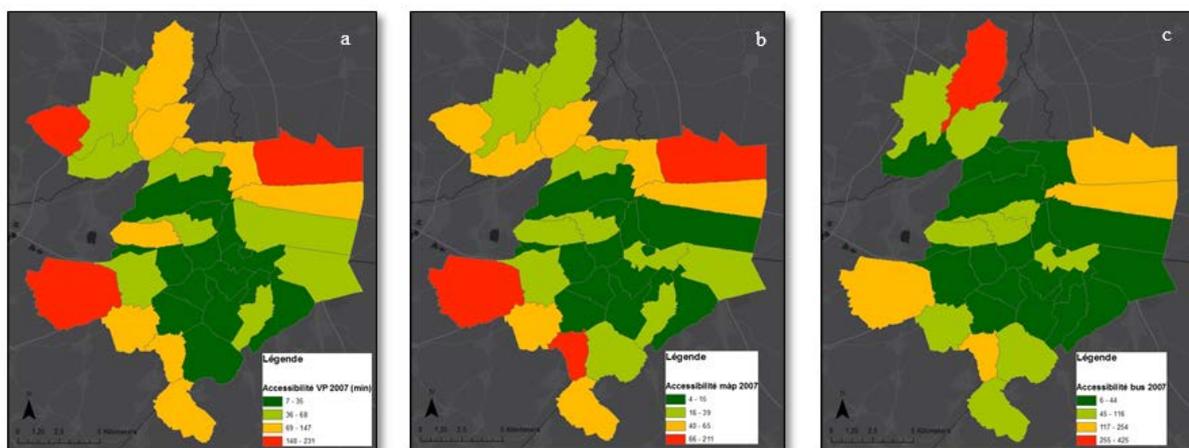


Figure 25 : Diagnostic territorial d'accessibilité 2007 pour la voiture particulière (a), la marche à pied (b) et le bus (c) (Mulhouse)

Le diagnostic réalisé pour l'agglomération de Mulhouse présente un profil très différent de celui constaté pour l'agglomération de Strasbourg. En effet, l'indice d'accessibilité est considéré comme bon dans les zones centrales, quel que soit le moyen de déplacement (le vélo n'est pas considéré dans ce cas d'étude car sa pratique relève d'un pourcentage négligeable, par rapport à l'ensemble des déplacements simulés). De même, l'accessibilité des zones les plus excentrées peut être mauvaise, pour tous les modes de transport (cf. Figure 25). Les temps de parcours sont assez élevés, avec un maximum de 211 minutes (soit près de 4h) en voiture particulière et jusqu'à 7h pour le bus, ce qui pénalise irrémédiablement le choix de ce mode de transport, le menant à une utilisation quasi inexistante pour les zones concernées. En revanche, une part importante du territoire est accessible en moins de 45 minutes.

Dans les Figure 26 et Figure 27, seul l'aspect bus est considéré, afin de tester l'impact des différentes configurations, toutes choses égales par ailleurs.

Accessibilité	2042	
	Extension	Intensification
Pôles	+14% (a)	-3% (b)
Eparpillement	+10% (c)	+4% (d)

Tableau 143 : Augmentation des temps de parcours pour les zones d'où sont émis les déplacements les plus longs (Mulhouse)

L'impact des configurations est visible pour le cas d'étude de Mulhouse car l'axe Extension mène à des durées plus élevées (Tableau 143), pour l'accessibilité bus. En effet, les plages de valeurs sont plus étalées pour PE et EE, comme indiqué dans la Figure 26.

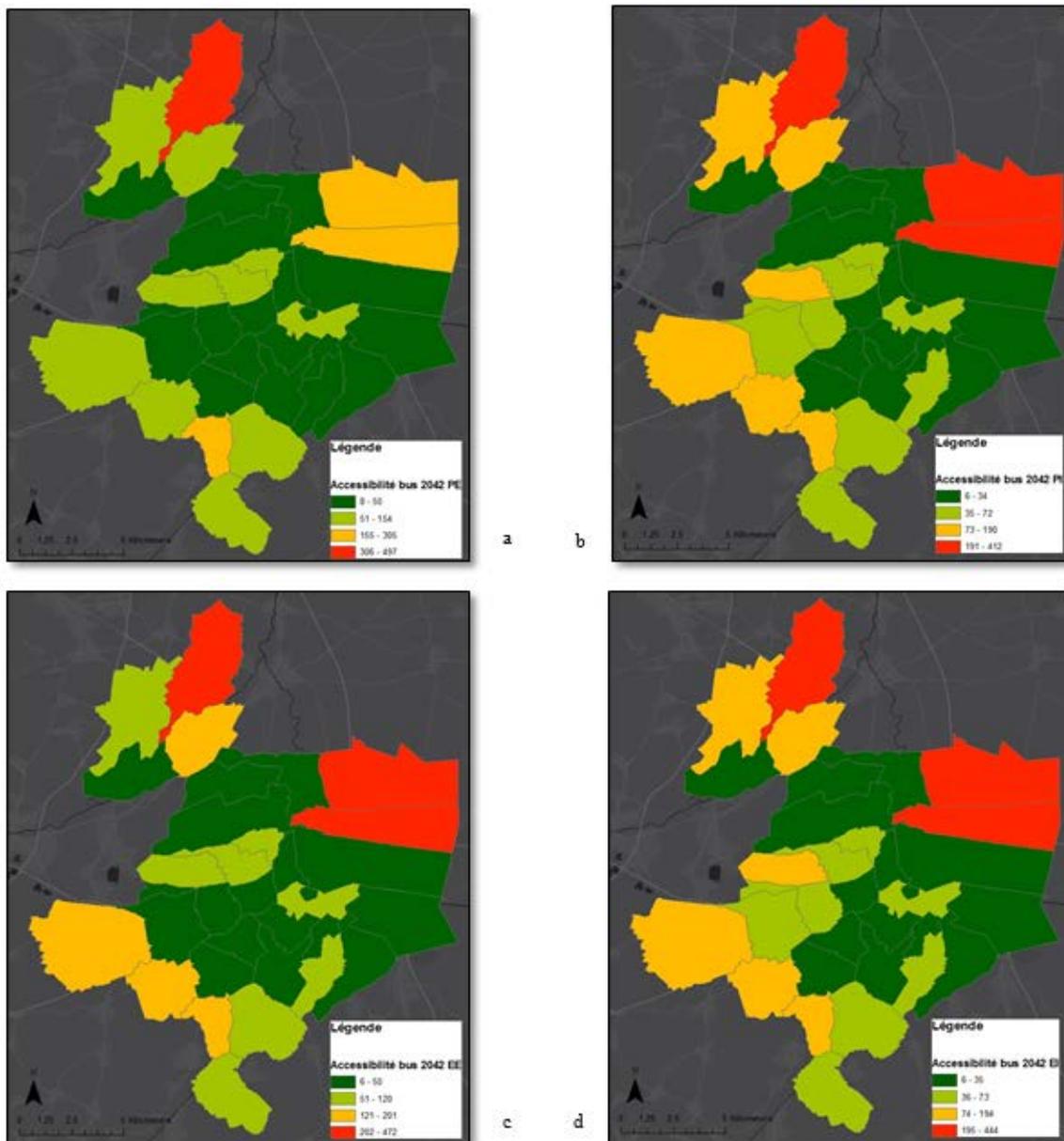


Figure 26 : Accessibilité à l'horizon 2042 pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (Mulhouse)

Pour les deux configurations d'intensification, une majorité de zones est accessible en environ 70 minutes et environ la moitié en moins de 35 minutes. Les temps de déplacement sont donc

amoindris, ce qui permet une diffusion du mode bus dans ces zones. Le critère « pôles » n'est également pas mis en lumière, avec des zones considérées comme renforcées mais pourtant non favorisée pour les transports en commun.

Le Tableau 144 permet d'apprécier l'impact significatif de l'application de politiques en faveur des transports en commun, pour Mulhouse et son agglomération. Une forte décroissance est constatée pour la durée maximale de déplacements sur l'ensemble des résultats des configurations, et particulièrement pour la configuration EI (Tableau 144 et Figure 27).

Accessibilité	2042	
	Extension	Intensification
Pôles	-32% (a)	-35% (b)
Eparpillement	-38% (c)	-60% (d)

Tableau 144 : Augmentation des temps de parcours pour les zones d'où sont émis les déplacements les plus longs (scénario TC, Mulhouse)

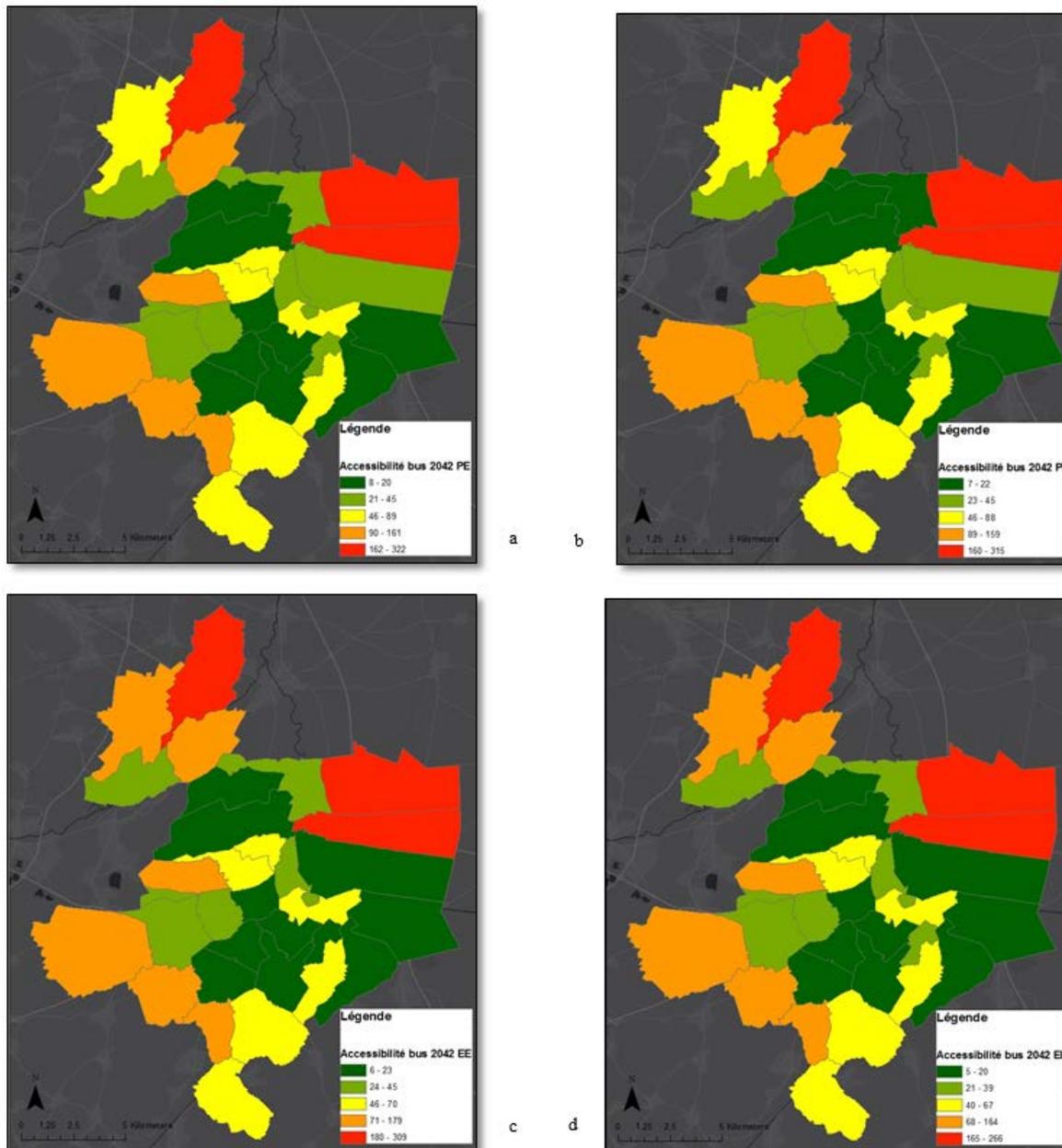


Figure 27 : Accessibilité à l'horizon 2042 pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (scénario TC, Mulhouse)

Globalement, les temps de déplacements sont réduits et les plages de valeurs sont plus proches, dans toutes les cartes. Pour toutes les configurations, les zones accessibles en un temps donné sont réparties de la même façon. Cela met donc en évidence l'impact des politiques de transport en commun, à la fois en termes d'**efficacité** sur l'agglomération de Mulhouse mais également en termes d'**effet prépondérant** par rapport à la distinction en configurations spatio-fonctionnelles.

4.3.2.3 Coûts liés à l'utilisation de mode de transport

Plusieurs sources concordantes issues des calculs du CGDD³¹ ont permis de réaliser ce diagnostic économique, pour les usagers de VP ; les valeurs considérées dans le Tableau 145 représentent les facteurs utilisés directement dans les calculs de la section.

Coûts kilométriques (carburant et frais d'usage €/km)	2007	2030	2042
VP	0,1991	0,2052	0,2143

Tableau 145 : coûts kilométriques VP, source extrapolations EIFER à partir de calculs CGDD

Coûts kilométriques €/pkm	2007	2030	2042
TC Strasbourg	0,117	0,173	0,186

Tableau 146 : coûts kilométriques TC, source : exercice interne EIFER

a) Strasbourg

En 2007, le montant total dépensé quotidiennement par les usagers pour le mode de transport voiture équivalait à environ 2,2 millions d'euros, sur le périmètre de l'Eurométropole de Strasbourg. Les Tableau 147 et Tableau 150 récapitulent l'impact des configurations sur le coût monétaire global dû à l'utilisation des véhicules particuliers pour la zone, ainsi que l'influence de l'application de politiques en faveur du TC, sur ce même cas d'étude. En parallèle, les coûts imputés à l'usage des TC sont mis en lumière.

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.192.786	+11%	+10%	+23%	+19%
Eparpillement		+18%	+16%	+33%	+29%

Tableau 147 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation du VP (Strasbourg)

Une forte croissance, liée à l'évolution des prix, est notable sur l'ensemble des configurations. Cependant, une forte disparité existe entre l'axe des polarités et celui de l'éparpillement. Ainsi à l'horizon 2030, si les configurations PE et PI voient leur facture globale augmenter de respectivement 11% et 10%, les configurations moins contraignantes en termes de localisation des habitants accusent une augmentation supérieure de 6 à 7%. De même, à l'horizon 2042, une différence de dix points est observée entre les pôles et l'éparpillement. Cet horizon voit également un comportement s'exacerber entre l'extension et l'intensification, car cette dernière option permet une augmentation inférieure de quatre points, par rapport à l'option d'habitat individuel.

³¹ *Théma, Projections de la demande de transport sur le long terme, 2016 et Valeurs recommandées pour le calcul socio-économique, 2014.*

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	53.182	+61%	+59%	+79%	+78%
Eparpillement		+3%	+52%	+14%	+68%

Tableau 148 : Evolution des coûts globaux dus à l'usage des TC (Strasbourg)

En comparant l'évolution des dépenses dues aux transports en commun avec le Tableau 128, on constate que les coûts augmentent plus fortement que les kilomètres parcourus, en raison de l'évolution des tarifs (ticket ou abonnement). Ainsi, si à l'horizon 2042 les passagers kilomètres diminuent pour la configuration PE, le total monétaires augmente –faiblement. Les autres configurations présentent une augmentation d'environ 70-80%.

Une mise en parallèle des coûts de VP et TC permet d'observer que les coûts totaux dus à l'usage des véhicules particuliers sont **bien supérieurs** à ceux occasionnés par les utilisateurs de transports en commun. Ainsi, le Tableau 149 présente l'agrégation des coûts et leur évolution, celle-ci ne différant que d'un point, par rapport aux coûts de voiture seule.

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.245.967	+12%	+11%	+24%	+21%
Eparpillement		+19%	+17%	+34%	+30%

Tableau 149 : Evolution des coûts globaux liés à l'usage des VP et TC (Strasbourg)

Lorsque des politiques en faveur des TC sont appliquées, l'utilisation de la voiture diminue, à la fois en relatif (parts modales) et en absolu (kilomètres parcourus). Ainsi, à l'horizon 2030, toutes les configurations permettent de réduire la facture globale ; à l'horizon 2042, seule la configuration EE présente toujours un surplus par rapport à 2007. L'écart entre les valeurs des deux tableaux se révèle être identique ou proche, selon les années, quelle que soit la configuration (par construction de l'indicateur). Seule la configuration EI, qui permet de diminuer de 28 points l'impact monétaire, reste à l'équilibre en 2042.

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.192.786	-8%	-9%	-3%	-7%
Eparpillement		-1%	-4%	+7%	+0%

Tableau 150 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation du VP (scénario TC, Strasbourg)

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	53.182	+207%	+206%	+292%	+298%
Eparpillement		+197%	+199%	+270%	+289%

Tableau 151 : Evolution des coûts globaux dus à l'usage des TC (scénario TC, Strasbourg)

Avec l'implémentation des politiques en faveur des transports en commun, le nombre de kilomètres réalisé augmente, ainsi que le coût, deux leviers très sensibles. La croissance des dépenses globale est importante pour les quatre configurations, avec un minimum de 270% pour la configuration EE –la moins contraignante en termes d'urbanisme- et jusqu'à près de 300% pour la plus contraignante.

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.245.967	-3%	-4%	+4%	+1%
Eparpillement		+3%	+1%	+13%	+7%

Tableau 152 : Evolution des coûts globaux liés à l'usage des VP et TC (scénario TC, Strasbourg)

Bien que les coûts liés aux transports en commun croissent de façon très significative, l'impact sur le budget global (VP et TC) n'est que peu affecté. Ainsi, à l'horizon 2042, le budget croît mais son évolution est plus faible que celle constatée sans la mise en pratique des scénarios en faveur des TC, présentée dans le Tableau 149. En effet, malgré une croissance de près de 300% pour les coûts de TC (due à la fois à la hausse des tarifs et à l'augmentation des kilomètres réalisés en bus), les coûts sont relativement stables, avec une augmentation minimale de 1% pour la configuration PI (rappel : +21%, dans la simulation sans scénario de TC) et jusqu'à +13% pour la configuration EE (rappel : +34% dans la simulation sans scénario de TC). Une nouvelle fois, ce tableau permet de souligner la dichotomie entre les axes polarités et éparpillement.

b) Mulhouse

L'analyse des coûts liés à la zone autour de Mulhouse révèle une situation plus contrastée que pour l'agglomération bas-rhinoise. En effet, dans le Tableau 153, les coûts en 2030 présentent une augmentation plus importante –soit +12% et +13% - dans les configurations de pôles que dans les configurations d'éparpillement –avec +10% et +11%. A 2042, l'évolution des coûts pour la configuration EI est inférieure de deux à trois points par rapport aux autres options.

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	476.613	+13%	+12%	+21%	+22%
Eparpillement		+11%	+10%	+22%	+19%

Tableau 153 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation du VP (Mulhouse)

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	20.237	+48%	+49%	+50%	+60%
Eparpillement		+46%	+50%	+51%	+62%

Tableau 154 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation des TC (Mulhouse)

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	496.850	+14%	+13%	+22%	+23%
Eparpillement		+12%	+12%	+23%	+21%

Tableau 155 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation des VP et TC (Mulhouse)

Contrairement au cas d'étude de Strasbourg, où l'application de politiques en faveur des TC permettait de diminuer le coût global d'utilisation du VP dans une majorité de configurations, aucune diminution n'est constatée à l'horizon 2042. Ainsi, le Tableau 156 ne présente qu'une diminution relative de l'impact monétaire dû à l'utilisation du VP. Si l'écart existant entre les deux scénarisations (sans politique incitative pour les transports publics et avec) représente environ la moitié de l'écart observé dans le cas d'étude de Strasbourg, il est intéressant de noter que l'amélioration est plus visible sur les configurations de l'axe d'éparpillement, avec une amélioration de 9% à l'horizon 2030 et de 13 à 14% en 2042.

€	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	476.613	+6%	+5%	+11%	+11%
Eparpillement		+1%	+1%	+9%	+6%

Tableau 156 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation du VP (scénario TC, Mulhouse)

4.3.3 Environnement et énergie

4.3.3.1 Consommation énergétique en phase d'usage

Le projet PERITHEL n'ayant pas pour but d'évaluer le potentiel d'électrification de la flotte de bus ni d'évaluer l'impact de la diffusion de la technologie gaz dans la flotte de bus alsacienne, le facteur kilométrique de consommation est considéré comme fixe entre 2007 et 2042. Cette hypothèse, bien que forte, est justifiée par l'aspect négligeable de la consommation énergétique des bus à la fois en valeurs absolue et relative par rapport à la consommation des véhicules particuliers.

a) Strasbourg

Les simulations permettent de comparer des situations diverses, détaillées en Tableau 157. L'évolution la moins profitable d'un point de vue économie d'énergie à l'horizon 2042 est atteinte avec la configuration EE, menant à une augmentation de 10% d'énergie consommée,

en considérant le bilan dû à la fois aux bus et aux véhicules particuliers. En comparaison, le scénario de promotion des transports en commun appliqué à la configuration PI présente une diminution de 17% de la consommation globale.

kWh	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.807.362	+2%	+1%	+3%	+0%
Eparpillement		+8%	+6%	+10%	+7%

Tableau 157 : Evolution de la consommation énergétique pour les véhicules particuliers et bus (référence pour Strasbourg)

Bien que les pôles déterminés pour l'étude regroupent une part importante de la population du périmètre, la densification de ces zones ne mène qu'à une faible augmentation de la consommation énergétique, de l'ordre de +1% pour la configuration PI à l'horizon 2030, et +3% pour la configuration PE à l'horizon 2042. A ce même horizon temporel, la simulation PI permet de conserver la même consommation énergétique.

En revanche, les configurations d'éparpillement impactent négativement le bilan énergétique : le cas le plus favorable (EI) conduit à une croissance de 6% de l'utilisation énergétique et le cas le moins favorable (EE) mène à 10% d'augmentation pour l'énergie nécessaire au transport.

La densification au sens spatio-fonctionnel des configurations a donc un impact positif sur la consommation d'énergie, aux horizons 2030 et 2042.

kWh	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	2.807.362	-11%	-12%	-14%	-17%
Eparpillement		-5%	-8%	-6%	-11%

Tableau 158 : Evolution de la consommation énergétique pour les véhicules particuliers et bus (Scénario TC pour Strasbourg)

L'application de politiques de transport sur l'agglomération de Strasbourg permet d'améliorer le bilan global (Tableau 158). En effet, la diminution de la consommation énergétique atteint au minimum 5% dans la configuration EE en 2030 et une réduction de 17% est observée pour l'année 2042, avec la configuration PI. De même que pour l'évaluation précédente, sans application de politique de transport, les configurations de pôles se révèlent plus efficaces dans la sobriété énergétique que les configurations d'éparpillement.

b) Mulhouse

Contrairement au cas d'étude de Strasbourg, l'observation majeure des simulations des configurations mulhousiennes indique que le bilan énergétique demeure relativement stable dans le temps (Tableau 159). Ainsi, l'évolution la plus importante, +4%, est obtenue avec le scénario PE, à l'horizon 2030 et sans application de politique de transport en commun. L'autre extrême est observé pour la configuration PI avec politiques de transport fortes, à

l'horizon 2042, avec une réduction de 6% de l'énergie consommée sur l'agglomération (Tableau 160).

Seule la configuration EI permettra de ne pas observer d'évolution dans la consommation énergétique des transports.

kWh	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	660.071	+4%	+3%	+2%	+2%
Eparpillement		+2%	+2%	+2%	+0%

Tableau 159 : Evolution de la consommation énergétique pour les véhicules particuliers et les bus (référence pour Mulhouse)

L'instauration de politiques de transport en commun véritablement incitative mène à des bilans plus nuancés (Tableau 160). En 2042, toutes les configurations permettent d'obtenir une réduction de la consommation énergétique. En 2030, en revanche, les scénarios PE et PI présentent une faible augmentation du bilan en kWh. Finalement, seule la configuration PI, liée à ces politiques de transport, conduit à une diminution significative de l'impact énergétique à l'échelle de l'agglomération, de -6%.

kWh	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	660.071	+3%	+2%	-1%	-1%
Eparpillement		-2%	-3%	-3%	-6%

Tableau 160 : Evolution de la consommation énergétique pour les véhicules particuliers et les bus (scénario TC pour Mulhouse)

4.3.3.2 Emissions de CO₂ avec application de politiques de transport

Notes

Rappel des objectifs : -30% à l'horizon 2030, et réduction "d'au moins 70%" à l'horizon 2050.

Dans l'étude, les horizons 2042 et 2050 sont identifiés comme étant proches.

A l'horizon 2030, pour les deux cas d'étude, les objectifs en termes de réduction d'émissions de CO₂ sont atteints, quelle que soit la configuration simulée (Tableau 161 et Tableau 162). En effet, ces quatre configurations permettent un déclin de 37% à 43% des émissions simulées pour les environs de Strasbourg, alors que l'agglomération mulhousienne réduit de 32% à 35% ses émissions pour les toutes les configurations, permettant donc d'atteindre les objectifs en les dépassant de peu.

CO ₂	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	592,134	-41%	-41%	-67%	-68%
Eparpillement		-37%	-43%	-64%	-72%

Tableau 161 : Bilan CO₂ (Strasbourg)

CO ₂	2007	2030		2042	
		Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	142,266	-32%	-33%	-63%	-63%
Eparpillement		-35%	-35%	-63%	-64%

Tableau 162 : Bilan CO₂ (Mulhouse)

Cependant, considérant les objectifs nationaux à 2050, les configurations ne permettent que d'atteindre une réduction d'environ 65% du total des émissions. Par conséquent, il faut noter que les évolutions technologiques et des politiques de transport fortes, alliées à des configurations spatio-fonctionnelles très restrictives ne suffisent pas pour mener à une décroissance suffisamment significative les émissions de CO₂ pour atteindre les objectifs.

4.3.3.3 Emissions de polluants réglementés

Les résultats suivants ont été simulés à l'aide de facteurs d'émissions issus de l'outil HBEFA, disponible sur internet, prenant en compte l'évolution annuelle des flottes de véhicules. Ces facteurs kilométriques sont obtenus pour le territoire français pour les années 2005, 2010, 2015, 2020, 2025 et 2030, et ont été extrapolés (selon l'historique des valeurs) afin de fournir des estimations pour les années étudiées. Le Tableau 163 dresse un bilan des valeurs considérées, selon les polluants réglementés.

<i>FE VP/VE (g/km)</i>	2007	2030	2042
<i>CO</i>	2,68	1,34	0,39
<i>HC</i>	0,45	0,15	0,004
<i>NO_x</i>	0,68	0,13	0,001
<i>PM</i>	0,0438	0,0313	0,001

Tableau 163 : Facteurs d'émissions pour les polluants locaux, source : extrapolation EIFER d'après HBEFA (juillet 2017)

Il est important de noter que les facteurs d'émissions sont régulièrement mis à jour et que, par conséquent, les valeurs actuellement disponibles sur le site HBEFA peuvent différer de celles présentées dans ce document. De plus, un impact significatif est dû à ces valeurs et se répercute sur les résultats des simulations. Ainsi, les facteurs HC, NO_x et PM à l'horizon 2042 sont proches de 0, ce qui induit des réductions d'émission particulièrement significatives.

a) Strasbourg

Les résultats des simulations sans aucune politique de transport sont très instructifs car peu de variations peuvent être observées selon les configurations spatio-fonctionnelles, pour les émissions de CO, HC, NO_x et PM (Tableau 164).

	CO		HC		Nox		PM	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	-82%	-82%	-98%	-98%	-95%	-95%	-95%	-95%
Eparpillement	-80%	-81%	-98%	-98%	-95%	-95%	-95%	-95%

Tableau 164 : Evolution du bilan des polluants locaux, sans politique de transport en commun (Strasbourg)

La mise en application de politiques de transports publics décale le niveau d'évolution par rapport à la simulation de référence sans modifier les rapports d'équilibre. Ainsi, le CO ne diminue que de deux points, les HC de un point, les PM d'un ou deux points, et les NO_x de quatre points, comme indiqué dans le Tableau 165.

	CO		HC		Nox		PM	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	-83%	-84%	-97%	-97%	-91%	-91%	-94%	-94%
Eparpillement	-82%	-83%	-97%	-97%	-91%	-91%	-93%	-94%

Tableau 165 : Evolution du bilan des polluants locaux, avec politique de transport en commun (Strasbourg)

b) Mulhouse

Les Tableaux 166 et 167 présentent les résultats des simulations pour la zone de Mulhouse, confrontant ainsi de nouveau l'effet technologique aux configurations spatio-fonctionnelles.

kWh	CO		HC		Nox		PM	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	-82%	-82%	-98%	-98%	-95%	-95%	-95%	-95%
Eparpillement	-82%	-82%	-98%	-98%	-95%	-95%	-95%	-95%

Tableau 166 : Evolution du bilan des polluants locaux, sans politique de transport en commun (Mulhouse)

kWh	CO		HC		Nox		PM	
	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification	Extension	Intensification
Pôles	-81%	-81%	-97%	-97%	-90%	-90%	-93%	-93%
Eparpillement	-81%	-82%	-97%	-97%	-90%	-90%	-93%	-93%

Tableau 167 : Evolution du bilan des polluants locaux, avec politique de transport en commun (Mulhouse)

Ainsi que précédemment constaté pour le cas d'étude de Strasbourg, les comportements évolutifs des bilans d'émissions de polluants ne semblent pas être fonction de la configuration choisie. L'évolution favorable de ces simulations réside dans l'amélioration technologique.

4.4 Synthèse

Les différentes simulations ont mis en lumière des territoires aux enjeux différents. Nous rappelons que, par construction de la modélisation, les parts modales sont fixes au cours du temps si aucune politique de transport, hormis la diffusion des véhicules électriques, n'est appliquée.

Concernant l'agglomération du Bas-Rhin, un report vers les modes doux et les transports en commun est notable avec l'application de politiques de transport locales, pour toutes les configurations spatio-fonctionnelles, et en particulier pour les configurations de Pôles. En revanche, la part modale de la marche à pied évolue en fonction du degré de densification du périmètre étudié. Le nombre de kilomètres parcourus en véhicule particulier diminue également selon cet axe de densité.

Si le périmètre retenu pour l'agglomération de Strasbourg est particulièrement réactif aux différentes options testées lors de cette étude, les évolutions environnementales restent tout de même limitées. Ainsi, les bilans présentent sans équivoque une amélioration plus importante dans le cas de configurations denses de l'axe Polarités que dans le cas de configurations d'Eparpillement, pour l'énergie consommée kWh et les émissions de CO₂. Néanmoins, l'évolution des émissions de NO_x, HC et PM semblent être fonction d'améliorations technologiques.

L'étude de l'agglomération de Mulhouse présente des résultats très différenciés de ceux de Strasbourg. En effet, les configurations spatio-fonctionnelles les plus intéressantes d'un point de vue environnemental ne sont pas nécessairement liées à l'axe des Polarités. Ainsi, la configuration Eparpillement/Intensification est la plus favorable à l'augmentation de l'usage des transports en commun, ce qui est notable également dans l'étude de l'indicateur d'accessibilité. En comparaison, le scénario Eparpillement/Extension mène à une réduction de la part de ces mêmes modes. Malgré l'application de politiques de transports, le nombre de kilomètres parcourus ne cesse de croître légèrement ou stagne, aux horizons 2030 et 2042.

Les bilans environnementaux simulés sur l'agglomération du Haut-Rhin montrent que les configurations spatio-fonctionnelles ne sont pas significatives dans les évolutions des émissions de polluants réglementés. De plus, les bilans énergétiques sont globalement stables.

Dans les deux cas d'étude présentés, il a été mis en lumière la faible implication des configurations spatio-fonctionnelles dans l'évolution des bilans de polluants locaux. En effet, celle-ci est majoritairement due à des avancées technologiques et, dans une bien moindre mesure, à des politiques locales de transports incitatives en faveur des modes doux et transports en commun. L'impact de ces configurations réside donc dans la distribution modale locale.

Par ailleurs, les différentes options testées permettent d'atteindre les objectifs affichés par la SNBC en termes de CO₂, à l'horizon 2030 mais pas à l'horizon 2042.

5 CONCLUSIONS

Une première étape reposant sur l'analyse de la littérature scientifique sur les rapports entre formes urbaines et mobilité, l'étude des projets d'aménagements aujourd'hui en gestation dans les bureaux d'études et dans les collectivités territoriales et la prise en compte des réalités morphologiques, sociales et politiques de l'organisation du territoire français, nous a permis d'arriver à une première série de conclusions.

Les travaux récents sur les rapports entre formes urbaines et mobilité confortent la critique de la densité. D'une part la vigueur de la corrélation entre densité et consommation d'énergie est remise en cause. D'autre part la densité est un indicateur pauvre, voire trompeur car elle n'explique pas à elle seule les comportements de mobilité. D'autres facteurs tels que la compacité ou la mixité fonctionnelle entrent en jeu.

Les scénarios étudiés doivent se fonder sur le polycentrisme, entendu comme la structuration du périurbain par des pôles plus ou moins compacts, avec plusieurs types de centralités possibles : autour des gares ferroviaires ; autour des bourgs ; autour des centres commerciaux.

De ce qui précède, on en déduit qu'il faut évaluer, à densité équivalente, des formes spatiales différentes (concentration vs éparpillement/émiettement), en individuel ou en collectif. Ces réflexions s'appuient principalement sur les travaux de A. Brès et alii sur les « carrés » périurbains en Picardie et en Allemagne.

De nombreux déplacements dans les territoires périurbains s'effectuent sur de courtes distances : leur importance pourrait se renforcer dans des scénarios polycentriques, de même qu'avec des politiques volontaristes en faveur du vélo ou du covoiturage.

Ces conclusions d'étape ont permis d'élaborer une démarche scénariale combinant : quatre configurations spatio-fonctionnelles cibles, selon les dimensions d'une part éparpillement / polarisation de l'habitat, d'autre part extension (habitat individuel) / intensification (habitat collectif) ; des leviers technologiques (émissions des véhicules) et comportementaux (transports collectifs, covoiturage, vélo à assistance électrique) ; des outils (modèle MARS sur Strasbourg et Mulhouse, simulation du potentiel de changement sur trois « carrés », périurbains lyonnais et strasbourgeois, métropolitain lyonnais).

Précisons tout d'abord que les conclusions auxquelles nous parvenons se fondent sur un critère premier, celui des émissions de CO₂, dans la visée de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC). La mise en avant d'autres critères comme le coût du logement, la satisfaction de certaines préférences résidentielles pour la proximité ou la mixité fonctionnelle, le lien social ou encore la qualité de vie, aurait peut-être donné d'autres résultats. Des critères d'ordre économique comme les dépenses privées et publiques dans les transports n'ont pas non plus été mis en avant mais ils sont tout de même pris en considération, notamment pour ce qui est du scénario de développement des transports collectifs (cf. infra).

Une première question se pose, relative à la « durabilité » des formes spatiales par elles-mêmes du point de vue des mobilités, indépendamment de toute variation des technologies de transport, des conditions de déplacement ou des comportements individuels. Nous considérons donc un scénario totalement fictif, celui d'un espace vierge dans lequel la

population actuelle et la population nouvelle à l'horizon 2050 seraient (re)localisées dans les pôles que nous avons définis dans nos trois « carrés ». Cette population adopte les comportements de mobilité actuels des habitants de ces pôles (notamment les distances parcourues – moindres en moyenne, la part plus importante de la marche à pied dans ces pôles, etc.). Ce scénario de relocalisation est bien sûr irréalizable (du moins dans le monde que nous envisageons) mais il a l'intérêt de donner un repère quant au caractère éventuellement souhaitable de telles formes de localisation.

L'effet de ces relocalisations fictives est réel mais modulé selon la dynamique démographique et les contextes de mobilité des territoires concernés. Dans le carré périurbain lyonnais (OL) la croissance de population anticipée à 2050 est forte, +31%, et supérieure à celle du carré métropolitain (+21%) et l'usage de la voiture est très largement prédominant, y compris pour le domicile-travail. Un tel scénario de relocalisation dans les pôles n'aboutit qu'à ralentir la croissance des distances parcourues en voiture au profit des transports collectifs et surtout de la marche à pied, et in fine ne fait que ralentir la croissance des émissions de CO₂ (+13%). Dans le carré périurbain strasbourgeois (OS) la situation est assez différente puisque la croissance de population anticipée à 2050 est plus faible, +17%, et à peine plus élevée que celle anticipée pour l'agglomération de Strasbourg, y compris pour les actifs (+7%), l'usage de la voiture étant également très largement prédominant y compris pour le domicile-travail. Un scénario de relocalisation dans les pôles aboutit à réduire les distances parcourues en voiture au profit des transports collectifs et surtout de la marche à pied, et in fine les émissions de CO₂ (-3%). La tendance est bien plus marquée pour le carré métropolitain lyonnais (CM) du fait de la pratique assez élevée des transports collectifs et de la marche à pied par les habitants du pôle central (LV1). Non seulement la distance totale diminue (-6%) mais celles parcourues en voiture particulière passager et conducteur diminuent encore plus (-23% et -21%) et in fine la baisse des émissions de CO₂ est significative (-17%).

En bref, la localisation des populations apparaît comme un élément important sur le chemin de la réduction des émissions de CO₂. Dans certains territoires en faible croissance démographique elle peut provoquer une réduction des distances parcourues, dans d'autres fortement urbanisés et concentrés, avec une bonne offre en transports collectifs, comme le pôle central de la métropole lyonnaise, la réduction des émissions est même significative.

Cependant, on est encore très loin des objectifs de la SNBC (-70% en 2050). Cela tient essentiellement au fait que si vertueux soient (ou puissent être considérés comme) les comportements de mobilité des habitants du pôle central, la projection de ces comportements sur la population totale ne permet pas d'atteindre les objectifs fixés. En outre, le coût social d'une telle relocalisation rend sa réalisation très improbable.

En résumé, les « leviers » de l'urbanisme sur la localisation résidentielle des ménages n'ont pas vraiment les effets espérés du point de vue de la stratégie bas carbone. Cela nous conduit à écarter cette solution, même sur le long terme (au-delà de 2050) et à rechercher des paquets de mesures à la fois plus réalistes et plus efficaces, combinant actions sur les localisations résidentielles de la population nouvelle, leviers technologiques et actions sur les mobilités.

Les simulations du potentiel de changement sur les trois carrés (périurbains ouest lyonnais et strasbourgeois, métropolitain lyonnais) montrent que l'on peut arriver en 2030 et en 2050 à se conformer aux objectifs de la SNBC. Une grande partie du chemin est effectuée grâce à l'évolution technique des moteurs. Cependant, les objectifs de la SNBC ne peuvent être

atteints que si sont également mises en œuvre des politiques volontaristes pour le covoiturage et le vélo, en accompagnement de la technologie anticipée.

Par ailleurs, relativement à l'effet des politiques combinant technologie, covoiturage et vélo, l'effet différencié des localisations résidentielles de la population nouvelle (polarités vs éparpillement) semble très marginal dans les trois carrés, du point de vue des indicateurs environnementaux liés à la mobilité.

Cependant, dans le cas particulier des deux carrés périurbains, la concentration de la population nouvelle dans les pôles a un impact certain dans la redistribution des distances parcourues en faveur de la marche à pied (et d'autres modes de proximité comme le vélo dans un scénario volontariste vélo-VAE), ce qui n'est pas sans conséquence sur la qualité de vie des personnes concernées. On peut en outre conjecturer qu'un effort soutenu vers la « polarité » résidentielle dans le périurbain produirait des effets plus marqués à plus long terme (au-delà de 2050).

Par contre, sur le carré métropolitain, cette redistribution modale des distances parcourues n'est pas significative dans les différents scénarios de localisation de la population nouvelle, notamment du point de vue de la marche à pied quand on compare polarités à éparpillement.

Toutefois, il faut souligner une incertitude (qui s'ajoute aux autres !) dans le cadre de notre postulat de mobilité maintenue, à savoir l'incertitude sur l'évolution des distances parcourues. Une croissance de celles-ci, comme on a pu l'observer dans le passé à certaines périodes de croissance économique, pourrait rendre plus difficile l'atteinte des objectifs de la SNBC, surtout si l'embellie économique actuelle se confirme.

La simulation du potentiel de changement sur nos trois carrés, périurbains et métropolitain, nous permet de désigner les pistes les plus prometteuses, à savoir le développement de l'usage du vélo-VAE et du covoiturage. L'intérêt du modèle MARS, calibré sur Strasbourg et Mulhouse, est de tester les mesures qui permettraient d'y arriver. MARS permet de tester différentes mesures incitant au report modal vers les transports collectifs ou le vélo, mais pas le covoiturage dans la version actuelle du modèle.

Les simulations de MARS sur Strasbourg et Mulhouse montrent que les objectifs de la SNBC peuvent être atteints en 2030 (de l'ordre de -40% pour Strasbourg, -35% pour Mulhouse) et presque atteints en 2050 (près de -70% pour Strasbourg, au-delà de -60% pour Mulhouse). Il est raisonnable de penser que l'ajout d'incitations au covoiturage permettrait d'atteindre les objectifs de la SNBC en 2050.

Les simulations sur Strasbourg et Mulhouse confirment également le faible impact d'une différenciation selon des configurations spatio-fonctionnelles variées pour la population nouvelle, que ce soit du point de vue des polluants locaux réglementés (CO, HC, NOx, PM) ou des émissions de CO2. Par contre, au plan de l'énergie consommée dans les transports, la configuration polarités est plus vertueuse que celle de l'éparpillement.

Cependant, pour arriver aux reports modaux cibles, notamment pour les transports collectifs, les mesures incitatives injectées dans le modèle MARS doivent être très fortes, même en considérant une montée en puissance progressive jusqu'en 2050 : fréquences des transports collectifs doublées, création de voies dédiées, capacité des routes réduite, nombre de places de

parking réduit de moitié, péages routiers et forte augmentation des taxes sur le carburant. On peut douter de la faisabilité sociale et politique de certaines de ces mesures.

Par ailleurs, concernant le développement de l'offre en transports collectifs, la question de la faisabilité financière (du point de vue des finances publiques) se pose également. L'estimation du coût (public et privé) des différents scénarios demanderait des calculs assez fins selon les territoires concernés ou des valeurs à élaborer dans le cas de relatives nouveautés comme le déploiement du covoiturage. On peut toutefois donner quelques indications qualitatives et quantitatives.

Sur les coûts de l'offre de transport, les éléments quantitatifs les plus récents que l'on ait pu trouver datent de 2009 (Orfeuillat, 2011) mais ils sont instructifs quant à leur ordre de grandeur : 89 cts d'euro par voyageur-kilomètre en coût global pour les transports urbains de province (dont 72 cts de dépense publique – collectivités, versement-transport et emprunts – et près de 90% en fonctionnement – le reste étant la part usager) ; 2,3 cts d'euro de dépense publique pour la route par voyageur-kilomètre dans les aires urbaines de province auxquels s'ajoutent les 20 cts par véhicule-kilomètre représentant la part usager. Evidemment il ne s'agit pas d'argumenter en faveur de la route sur la base de ces seules considérations financières : ces chiffres ne font que refléter l'équilibre actuel entre offre et demande et ne tiennent pas compte de l'encombrement relatif des différents modes de transport sur les infrastructures. Cependant, ils permettent de souligner la difficile équation à laquelle les finances publiques sont confrontées.

Concernant le vélo, le coût public d'un développement massif d'infrastructures cyclables sur les territoires étudiés reste à évaluer. Le coût privé est celui de l'équipement des cyclistes en véhicule et ses accessoires. Mais le coût de fonctionnement pour les finances publiques serait sans commune mesure avec celui des transports collectifs. On peut donc présumer que le coût au cycliste-kilomètre serait également sans commune mesure avec l'équivalent pour les transports collectifs.

Concernant le covoiturage, la composante essentielle du coût global serait du coût privé supporté par les plateformes de mise en relation et les covoitureurs. La composante publique serait la mise en œuvre et l'exploitation de voies réservées, notamment en entrée d'agglomération. Les expérimentations prochaines de voies réservées devraient permettre d'apporter des éléments quant à leurs coûts. Mais là aussi on peut présumer que le coût public au covoitureur-kilomètre serait bien moindre que l'équivalent pour les transports collectifs.

Ces considérations conjuguées aux potentialités d'atteinte effective des objectifs CO2 de la SNBC indiquent clairement que les pistes à privilégier de manière soutenable pour le développement d'offres alternatives à la voiture solo sont le covoiturage et le vélo avec son option VAE.

Enfin, notons que les alternatives de localisation de la population nouvelle (polarités versus éparpillement) ne représentent que peu d'enjeux du point de vue environnemental, même si la polarité peut avoir quelques vertus du point de vue de la consommation d'énergie dans les transports. Mais le coût social (acceptabilité sociale et politique) de localisations « forcées » de la population nouvelle modère l'intérêt de telles politiques.

En résumé, l'efficacité des mesures de développement du vélo-VAE et du covoiturage suggère que leur mise en œuvre permettrait d'avancer dans la bonne direction. Mais cela suppose malgré tout des politiques très volontaristes.

6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME, 2012. Contributions de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050. Synthèse, 29 p.
- Bertaud, A. (2004) The spatial organization of cities: Deliberate outcome or unforeseen consequence? Working paper. Revised May 2004, 27 p. <http://alain-bertaud.com>
- Bonnafous, A., Masson, S. (2003) Evaluation des politiques de transports et équité spatiale. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* n°4, pp. 547-572.
- Brès, A., 2015. Figures discrètes de l'urbain. Metis Presses.
- Brès, A., Beaucire, F., Mariolle, B. (2017) La France des campagnes à l'heure des métropoles. Territoire Frugal. MétisPresses, 2017
- Brès, A., Mariolle, B., Delaville, D. (2011) Les Figures d'une éco-mobilité périurbaine entre intermodalité obligée et densité dispersée. Le Carré Picard au filtre de l'accessibilité durable. Rapport au PUCA
- Castel, J.-C., Jardinier (2011) La densité au pluriel. Un apport à la recherche sur les coûts d'urbanisation. *Etudes Foncières*, n°52, juillet-août 2011, pp. 13-17.
- CERTU, 2009. Calcul a posteriori des distances dans les enquêtes ménages déplacements, 44 p.
- CGDD, 2014. Le covoiturage pour les déplacements domicile-travail : quel potentiel ? *Etudes et documents* n°107, Juin 2014, Commissariat Général au Développement Durable, Paris, 52 p.
- CGDD, 2016. *Projections de la demande de transport sur le long terme*. Commissariat Général au Développement Durable, 142 p. + annexes.
- Cordobes, S., Lajarge, R., Vanier, M. (2010) Vers des périurbains assumés. Quelques pistes stratégiques pour de nouvelles régulations de la question périurbaine. *Territoires 2040*. DATAR, Paris, 2^{ème} semestre 2010, pp. 21-32
- Gallez, C. (2002) Indicateurs d'évaluation de scénarios d'évolution de la mobilité urbaine. Rapport DTT-INRETS, juillet 2000, 139 p.
- Gallez, C. (2002) Indicateurs de comparaison de scénarios prospectifs. Peut-on élargir le débat sur l'avenir de la mobilité urbaine ? *Recherche Transports Sécurité* 77 (2002) 281-295.
- Gallez, C., Hivert, L. (1998) *BEED : mode d'emploi. Synthèse méthodologique pour les études « budget-énergie-environnement-déplacement »*, Rapport ADEME-INRETS, 85 p.
- Hansen, W.G. (1959) How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25, 73-76.
- Héran, F. 2009. Des distances à vol d'oiseau aux distances réelles ou de l'origine des détours. *Flux*, 2009/2 n° 76-77, pp. 110-121
- IDDR (2012) *Modes de vie et empreinte carbone. Prospective des modes de vie en France et à l'horizon 2050 et empreinte carbone*. Cahiers du CLIP, IDDR, 130 p.
- MEDDE, 2014. *Note technique du 27 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transport*. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie.

- Morlet, O. (2001) Coûts et avantages des basses densités résidentielles. Etat des lieux. Paris, ADEF, 110 p.
- MTES, 2017. Information GES des prestations de transport. Guide méthodologique. Novembre 2017.
- Neuburger, H. (1971) User benefit in the evaluation of transport and land use plans. *Journal of Transport Economics and Policy*, 5, 52-75.
- Nicolas, J.-P., Pochet, P., Poimboeuf, H. (2001) Indicateurs de mobilité durable sur l'agglomération lyonnaise. Méthodes et résultats. Rapport pour Renault. LET, APDD, Juillet 2001, 233 p.
- Nicolas, J.-P., Pochet, P., Poimboeuf, H. (2002) Mobilité urbaine et développement durable : quels outils de mesure pour quels enjeux ? *Cahiers Scientifiques du Transport*, n°41, pp. 53-76.
- Orfeuil J.-P. 2006. Les coûts des déplacements urbains : la durabilité du modèle en question. *Revue d'économie financière*, n°86, 2006. Le financement de la ville. pp. 65-79.
- Orfeuil, J.-P. 2011. Le vrai coût des transports de la vie quotidienne, *Infrastructure et mobilité*, n° 111. p. 11-17.
- Pointereau, P., Coulon, F. (2009) Abandon et artificialisation des terres agricoles. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n° 57, juillet 2009, pp. 109-120.
- Raux, C., Mercier, A., Ovtracht, N. (2008) Evaluation économique des politiques de transport et indicateurs d'accessibilité spatiale : l'apport des SIG. *Cybergeo*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 435. <https://cybergeo.revues.org/21333>
- Raux, C., Traisnel, J.P., Nicolas, J.P., Maizia, M., Delvert, K. (2005) *Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL*. ETHEL. Rapport R2. Action Concertée CNRS – Ministère de la Recherche. LET, Lyon.
- SETRA, 2011. Mobilités à longue distance. Estimation des circulations à partir de l'enquête nationale transports. Fiche n°5, Septembre 2011. http://www.infra-transports-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1125w_Fiche_MOBILITE_05.pdf accédé le 26/01/18.
- Vanier, M. (2010) Fictions périurbaines, quoique... *Territoires 2040*. DATAR, Paris, 2^{ème} semestre 2010, pp. 51-60

7 ANNEXES

Annexe 1 : Facteurs d'émission HBEFA

Country	Year	Vehicle category	Pollutant	Emission factor (g/vkm)
FR	2000	pass. car	CO	6.501
FR	2005	pass. car	CO	3.491
FR	2010	pass. car	CO	1.738
FR	2015	pass. car	CO	0.981
FR	2020	pass. car	CO	0.763
FR	2025	pass. car	CO	0.801
FR	2030	pass. car	CO	0.97
FR	2000	urban bus	CO	4.075
FR	2005	urban bus	CO	3.169
FR	2010	urban bus	CO	2.678
FR	2015	urban bus	CO	2.302
FR	2020	urban bus	CO	1.323
FR	2025	urban bus	CO	0.715
FR	2030	urban bus	CO	0.395
FR	2000	pass. car	CO2	179.689
FR	2005	pass. car	CO2	172.782
FR	2010	pass. car	CO2	161.87
FR	2015	pass. car	CO2	146.848
FR	2020	pass. car	CO2	131.246
FR	2025	pass. car	CO2	118.317
FR	2030	pass. car	CO2	107.574
FR	2000	urban bus	CO2	1126.597
FR	2005	urban bus	CO2	1104.543
FR	2010	urban bus	CO2	1072.669
FR	2015	urban bus	CO2	1057.698
FR	2020	urban bus	CO2	1064.288
FR	2025	urban bus	CO2	1071.705
FR	2030	urban bus	CO2	1079.067
FR	2000	pass. car	FC	56.595
FR	2005	pass. car	FC	54.419
FR	2010	pass. car	FC	50.983
FR	2015	pass. car	FC	46.251
FR	2020	pass. car	FC	41.337
FR	2025	pass. car	FC	37.265
FR	2030	pass. car	FC	33.882
FR	2000	urban bus	FC	354.834
FR	2005	urban bus	FC	347.888
FR	2010	urban bus	FC	337.848
FR	2015	urban bus	FC	333.133
FR	2020	urban bus	FC	335.209
FR	2025	urban bus	FC	337.545
FR	2030	urban bus	FC	339.864
FR	2000	pass. car	HC	1.175
FR	2005	pass. car	HC	0.596

FR	2010	pass. car	HC	0.291
FR	2015	pass. car	HC	0.166
FR	2020	pass. car	HC	0.128
FR	2025	pass. car	HC	0.13
FR	2030	pass. car	HC	0.151
FR	2000	urban bus	HC	1.263
FR	2005	urban bus	HC	0.781
FR	2010	urban bus	HC	0.374
FR	2015	urban bus	HC	0.162
FR	2020	urban bus	HC	0.082
FR	2025	urban bus	HC	0.051
FR	2030	urban bus	HC	0.042
FR	2000	pass. car	NOx	0.955
FR	2005	pass. car	NOx	0.728
FR	2010	pass. car	NOx	0.596
FR	2015	pass. car	NOx	0.557
FR	2020	pass. car	NOx	0.435
FR	2025	pass. car	NOx	0.276
FR	2030	pass. car	NOx	0.165
FR	2000	urban bus	NOx	13.664
FR	2005	urban bus	NOx	11.745
FR	2010	urban bus	NOx	9.272
FR	2015	urban bus	NOx	7.03
FR	2020	urban bus	NOx	3.71
FR	2025	urban bus	NOx	1.809
FR	2030	urban bus	NOx	0.873
FR	2000	pass. car	PM	0.054
FR	2005	pass. car	PM	0.045
FR	2010	pass. car	PM	0.037
FR	2015	pass. car	PM	0.021
FR	2020	pass. car	PM	0.01
FR	2025	pass. car	PM	0.005
FR	2030	pass. car	PM	0.003
FR	2000	urban bus	PM	0.554
FR	2005	urban bus	PM	0.356
FR	2010	urban bus	PM	0.187
FR	2015	urban bus	PM	0.097
FR	2020	urban bus	PM	0.045
FR	2025	urban bus	PM	0.02
FR	2030	urban bus	PM	0.01

Tableau 168 : Facteurs d'émission HBEFA (v 3.3 Avril 2017)³²

³² <http://www.hbefa.net/e/index.html>, consulté le 26/01/18, version 3.3 d'avril 2017

Annexe 2 : Agrégation des modes de déplacements de l'EMD de Lyon 2015

Agrégation	EMD Lyon 2015 (codage et descriptif depuis l'enquête)	
VPP (Passager Voiture)	22	PASSAGER DE VÉHICULE PARTICULIER (VP)
	61	PASSAGER TAXI
	82	PASSAGER DE FOURGON, CAMIONNETTE, CAMION (POUR TOURNÉES PROFESSIONNELLES OU DÉPLACEMENTS PRIVÉS)
VPC (Conducteur Voiture)	21	CONDUCTEUR DE VÉHICULE PARTICULIER (VP)
	81	CONDUCTEUR DE FOURGON, CAMIONNETTE, CAMION (POUR TOURNÉES PROFESSIONNELLES OU DÉPLACEMENTS PRIVÉS)
TC (Transports en Commun)	31	PASSAGER BUS RÉSEAU TCL OU TRANSPORT À LA DEMANDE TCL
	32	PASSAGER TRAMWAY TCL
	33	PASSAGER MÉTRO-FUNICULAIRE TCL
	34	PASSAGER BUS RÉSEAU RUBAN (CAPI)
	35	PASSAGER BUS RÉSEAU L'VA (VIENNAGLLO)
	36	PASSAGER BUS RÉSEAU LIBELLULE (CVBS)
	37	PASSAGER BUS AUTRES RÉSEAUX URBAINS DU PÉRIMÈTRE D'ENQUÊTE (SAONIBUS, COLIBRI, TAM)
	39	PASSAGER AUTRES RÉSEAUX URBAINS HORS PÉRIMÈTRE D'ENQUÊTE
	40	PASSAGER RHONEXPRESS
	41	PASSAGER TRANSPORTS COLLECTIFS DÉPARTEMENTAUX (UNIQUEMENT CARS DU RHÔNE ? TRANSISÈRE ? CAR.AIN.FR) DONT TRANSPORT À LA DEMANDE
	42	PASSAGER AUTRES AUTO-CARS (DONT PÉRISCOLAIRE, OCCASIONNEL, LIGNES INTERNATIONALES EN CABOTAGE)
	51	PASSAGER TER RHÔNE-ALPES TRAIN
	52	PASSAGER TER RHÔNE-ALPES CAR (LIGNES RÉGIONALES, TER ROUTIERS)
	53	PASSAGER AUTRES TRAINS (TGV, INTERCITÉS = CORAIL TÉOZ ET CORAIL LUNÉA, ...)
71	TRANSPORT EMPLOYEUR (EXCLUSIVEMENT)	
2RM (2 Roues Moteurs)	13	CONDUCTEUR DE DEUX OU TROIS ROUES MOTORISÉS < 50CM3
	14	PASSAGER DE DEUX OU TROIS ROUES MOTORISÉS < 50CM3
	15	CONDUCTEUR DE DEUX OU TROIS ROUES MOTORISÉS >= 50CM3
	16	PASSAGER DE DEUX OU TROIS ROUES MOTORISÉS >= 50CM3
Vélo	11	CONDUCTEUR DE VÉLO
	12	PASSAGER DE VÉLO
	17	CONDUCTEUR VELO LIBRE SERVICE (VELO'V, ..)
	18	PASSAGER VÉLO LIBRE SERVICE (VELO'V, ..)
Autre	91	TRANSPORT FLUVIAL OU MARITIME
	92	AVION
	93	ROLLER, SKATE, TROTTINETTE
	94	FAUTEUIL ROULANT
	95	AUTRES MODES (TRACTEUR, ENGIN AGRICOLE, QUAD, ETC.)
MàP	1	MAP

Annexe 3 : Agrégation des motifs de déplacements de l'EMD de Lyon 2015

Agrégation	EMD Lyon 2015 (codage et descriptif depuis l'enquête)	
2 Travail	11	Travail sur le lieu d'emploi déclaré
	12	Travail sur un autre lieu - télétravail
	13	Travail sur un autre lieu - hors télétravail
	81	Tournée professionnelle
6 Université	25	Étudier à l'université et grandes écoles (sur le lieu déclaré)
	29	Université et grandes écoles (sur un autre lieu)
5 Lycée	24	Étudier au lycée (sur le lieu déclaré)
	28	Lycée (sur un autre lieu)
4 Collège	23	Étudier au collège (sur le lieu déclaré)
	27	Collège (sur un autre lieu)
3 Maternelle	22	Étudier à l'école maternelle et primaire (sur le lieu déclaré)
	26	École maternelle et primaire (sur un autre lieu)
7 Accompagnement	61	Accompagner quelqu'un (personne présente)
	62	Aller chercher quelqu'un (personne présente)
	63	Accompagner quelqu'un (personne absente)
	64	Aller chercher quelqu'un (personne absente)
	71	Dépose d'une personne à un mode de transport (personne présente)
	72	Reprise d'une personne à un mode de transport (personne présente)
	73	Dépose d'une personne à un mode de transport (personne absente)
	74	Reprise d'une personne à un mode de transport (personne absente)
8 Services	41	Recevoir des soins (santé)
	42	Faire une démarche autre que rechercher un emploi
	43	Rechercher un emploi
9 Achats (Gd)	31	Réaliser plusieurs motifs en centre commercial
	32	Faire des achats en grand magasin, supermarché, hypermarché et leurs galeries marchandes
10 Achats (Pt)	33	Faire des achats en petit et moyen commerce et "drive in"
	34	Faire des achats en marché couvert et de plein vent
	35	Récupérer des achats faits sur internet (service " drive ")
11 Loisirs	2	Résidence secondaire, autre domicile
	30	Visite d'un magasin, d'un centre commercial ou d'un marché de plein vent sans effectuer d'achat
	82	Tournée de magasin sans achat
	51	Participer à des loisirs, des activités sportives, culturelles ou associatives
	52	Faire une promenade, du « lèche-vitrines », prendre une leçon de conduite
	53	Se restaurer hors du domicile
	54	Visiter des parents ou des amis
12 Autre	21	Être gardé (nourrice, crèche,,,))
	91	Autres motifs (préciser)
88 Domicile	1	Domicile

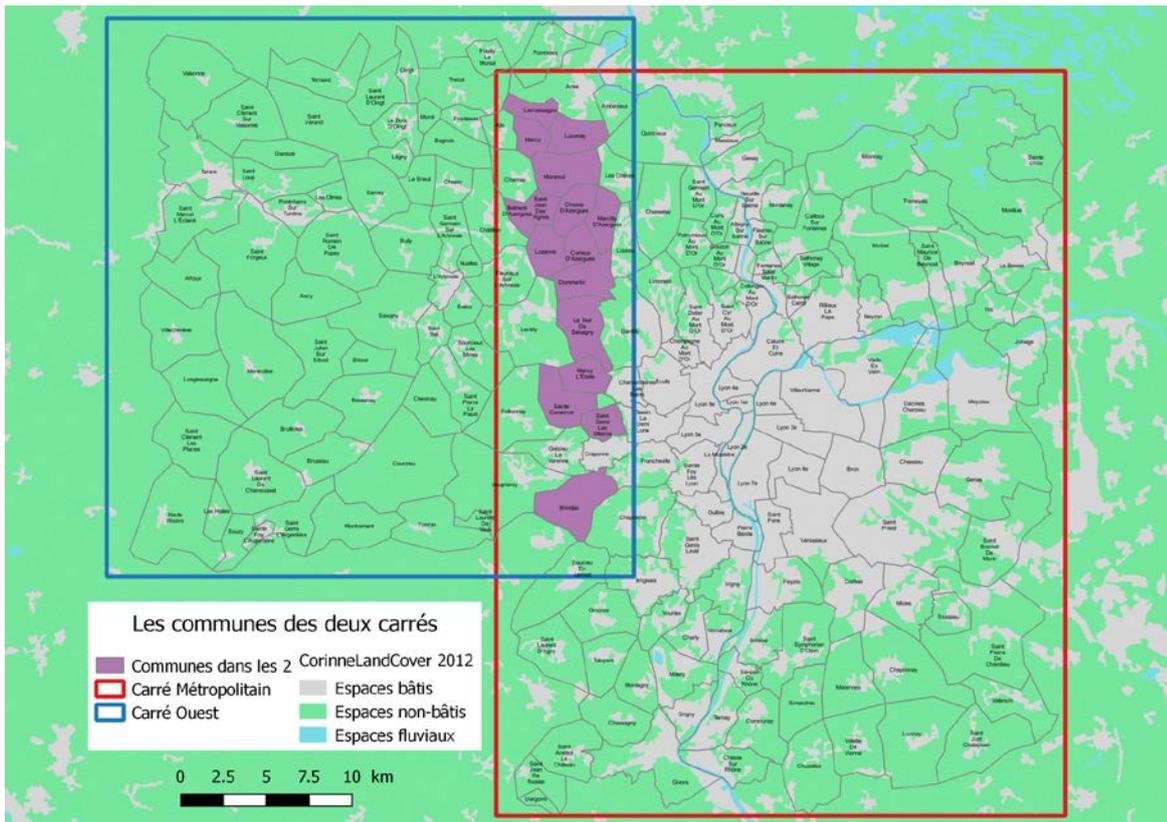


Figure 28 : Les deux carrés lyonnais

Carré Ouest Lyonnais, RGP 2013

INSEE	NOM_COM	Pop13	Act13	Men13	Mai13	App13	Log13
69001	AFFOUX	344	184	128	124	1	125
69004	ALIX	746	301	244	222	23	245
69008	ANCY	606	305	228	225	6	231
69009	ANSE	6 588	3 232	2 539	1 596	926	2 522
69010	L'ARBRESLE	6 271	3 045	2 521	1 120	1 394	2 514
69017	BAGNOLS	659	277	265	242	23	265
69020	BELMONT-D'AZERGUES	624	311	229	181	44	226
69021	BESSEY	2 253	1 083	889	717	170	886
69022	BIBOST	551	289	212	197	13	209
69024	LE BOIS-D'OINGT	2 334	1 034	905	657	246	903
69026	LE BREUIL	454	239	170	161	8	169
69028	BRINDAS	5 775	2 836	2 163	1 787	369	2 156
69030	BRULLIOLES	812	423	332	289	38	327
69031	BRUSSIEU	1 261	653	463	377	94	471
69032	BULLY	2 086	1 012	754	634	119	754
69047	CHARNAY	1 094	532	405	328	71	399
69050	CHÂTILLON	2 194	1 075	888	755	129	884
69052	CHAZAY-D'AZERGUES	4 007	1 904	1 616	1 253	357	1 610
69056	CHESSY	1 857	935	684	565	121	686
69057	CHEVINAY	541	283	229	202	19	221
69059	CIVRIEUX-D'AZERGUES	1 520	763	591	479	108	586
69067	COURZIEU	1 095	564	460	379	79	458
69073	DAREIZÉ	455	240	162	157	8	165
69076	DOMMARTIN	2 637	1 237	952	834	110	944
69083	ÉVEUX	1 243	570	465	421	48	469
69086	FLEURIEUX-SUR-L'ARBRESLE	2 337	1 134	878	781	92	873
69090	FRONTENAS	812	395	287	276	18	293
69094	GRÉZIEU-LA-VARENNE	5 331	2 625	2 148	1 447	693	2 140
69098	LES HALLES	478	253	177	141	34	175
69099	HAUTE-RIVOIRE	1 399	659	531	497	34	531
69106	LACHASSAGNE	992	471	381	331	46	377
69111	LÉGNY	657	359	247	199	51	250
69112	LENTILLY	5 289	2 630	2 019	1 635	376	2 011
69120	LONGESSAIGNE	601	294	236	223	15	238
69121	LOZANNE	2 611	1 328	1 063	715	344	1 059
69122	LUCENAY	1 834	863	682	636	53	689
69125	MARCILLY-D'AZERGUES	873	402	340	304	36	340
69126	MARCY	617	283	237	228	12	240
69127	MARCY-L'ETOILE	3 598	1 828	1 360	765	590	1 355
69134	MOIRÉ	199	88	80	75	5	80
69138	MONTROMANT	439	209	161	159	4	163
69139	MONTROTTIER	1 322	649	559	433	127	560
69140	MORANCE	2 109	962	748	659	87	747
69144	NUELLES						
69146	OINGT	651	321	266	243	25	268
69147	LES OLMES	784	418	313	261	51	311
69154	POLLIONNAY	2 205	1 031	768	632	127	759
69156	POMMIERS	2 382	1 102	908	843	64	907
69157	PONTCHARRA-SUR-TURDINE	2 592	1 216	1 047	760	287	1 047
69159	POUILLY-LE-MONIAL	961	480	374	337	32	369
69171	SAIN-BEL	2 275	1 180	975	563	409	972

69173	SARCEY	958	513	363	318	55	373
69175	SAVIGNY	1 990	1 021	779	657	126	784
69177	SOURCIEUX-LES-MINES	1 990	984	760	664	92	756
69178	SOUZY	772	388	311	257	56	313
69187	ST-CLÉMENT-LES-PLACES	621	325	252	213	38	251
69188	ST-CLÉMENT-SUR-VALSONNE	818	389	287	251	31	283
69190	STE-CONSORCE	1 849	935	693	621	70	691
69200	ST-FORGEUX	1 479	758	581	514	67	581
69201	STE-FOY-L'ARGENTIÈRE	1 297	599	659	331	330	661
69203	ST-GENIS-L'ARGENTIÈRE	1 045	545	408	371	42	413
69205	ST-GENIS-LES-OLLIERES	4 569	2 200	1 810	1 356	453	1 809
69208	ST-GERMAIN-NUELLES	2 116	1 080	829	714	55	769
69212	ST-JEAN-DES-VIGNES	408	189	161	135	22	157
69216	ST-JULIEN-SUR-BIBOST	556	295	240	205	31	236
69220	ST-LAURENT-DE-CHAMOUSSET	1 928	914	759	530	224	754
69221	ST-LAURENT-DE-VAUX						
69222	ST-LAURENT-D'OINGT	830	414	332	306	29	335
69223	ST-LOUP	987	454	379	371	5	376
69225	ST-MARCEL-L'ÉCLAIRÉ	514	252	208	183	24	207
69231	ST-PIERRE-LA-PALUD	2 614	1 363	1 029	690	343	1 033
69234	ST-ROMAIN-DE-POPEY	1 444	785	566	500	70	571
69239	ST-VÉRAND	1 113	561	449	389	58	447
69243	TARARE	10 733	4 588	4 889	1 341	3 478	4 818
69245	TERNAND	702	358	289	268	16	284
69246	THEIZÉ	1 104	533	442	403	42	444
69250	LA TOUR-DE-SALVAGNY	3 922	1 821	1 652	1 153	498	1 651
69254	VALSONNE	899	439	360	312	49	361
69255	VAUGNERAY	5 207	2 557	1 994	1 478	501	1 980
69263	VILLECHENÈVE	893	436	331	302	27	329
69269	YZERON	1 015	507	380	278	95	373
Total		145 728	70 705	57 471	42 158	15 061	57 219

Carré Métropolitain Lyonnais, RGP 2013

INSEE	NOM_COM	Pop13	Act13	Men13	Mai13	App13	Log13
69020	BELMONT-D'AZERGUES	624	311	229	181	44	226
69028	BRINDAS	5 775	2 836	2 163	1 787	369	2 156
69052	CHAZAY-D'AZERGUES	4 007	1 904	1 616	1 253	357	1 610
69059	CIVRIEUX-D'AZERGUES	1 520	763	591	479	108	586
69076	DOMMARTIN	2 637	1 237	952	834	110	944
69106	LACHASSAGNE	992	471	381	331	46	377
69121	LOZANNE	2 611	1 328	1 063	715	344	1 059
69122	LUCENAY	1 834	863	682	636	53	689
69125	MARCILLY-D'AZERGUES	873	402	340	304	36	340
69126	MARCY	617	283	237	228	12	240
69127	MARCY-L'ETOILE	3 598	1 828	1 360	765	590	1 355
69140	MORANCE	2 109	962	748	659	87	747
69190	SAINTE-CONSORCE	1 849	935	693	621	70	691
69205	SAINTE-GENIS-LES-OLLIERES	4 569	2 200	1 810	1 356	453	1 809
69212	SAINTE-JEAN-DES-VIGNES	408	189	161	135	22	157
69250	LA TOUR-DE-SALVAGNY	3 922	1 821	1 652	1 153	498	1 651
1043	BEYNOST	4 534	2 198	1 744	1 399	348	1 747
1049	LA BOISSE	2 927	1 454	1 067	958	116	1 073
1238	MASSIEUX	2 448	1 198	924	830	78	908
1248	MIONNAY	2 121	1 184	780	626	155	781
1249	MIRIBEL	9 277	4 471	3 672	1 884	1 724	3 608
1262	MONTLUEL	7 074	3 544	2 877	1 302	1 579	2 880
1275	NEYRON	2 497	1 293	1 002	714	290	1 004
1285	PARCIEUX	1 129	572	418	352	60	412
1342	SAINTE-CROIX	536	288	192	177	11	188
1376	SAINTE-MAURICE-DE-BEYNOST	3 903	1 886	1 530	707	802	1 510
1418	THIL	1 021	534	349	333	19	352
1424	TRAMOYES	1 657	881	604	530	70	600
38087	CHASSE-SUR-RHONE	5 609	2 730	2 164	1 284	867	2 151
38110	CHUZELLES	2 019	996	799	733	58	791
38215	LUZINAY	2 153	1 107	798	730	61	791
38408	SAINTE-JUST-CHALEYSSIN	2 421	1 179	920	842	74	916
38519	VALENCIN	2 636	1 369	958	843	116	959
38558	VILLETTE-DE-VIENNE	1 707	859	633	554	77	631
42083	DARGOIRE	476	255	179	173	7	180
69003	ALBIGNY-SUR-SAONE	2 804	1 178	973	526	436	962
69005	AMBERIEUX	542	282	196	175	17	192
69027	BRIGNAIS	11 429	5 299	4 517	2 368	2 089	4 458
69029	BRON	38 746	17 952	16 211	3 106	13 020	16 127
69033	CAILLOUX-SUR-FONTAINES	2 525	1 303	926	850	69	919
69034	CALUIRE-ET-CUIRE	42 581	19 769	19 539	2 921	16 480	19 400
69040	CHAMPAGNE-AU-MONT-D'OR	5 613	2 596	2 578	856	1 716	2 573
69043	CHAPONOST	8 099	3 694	3 120	2 442	666	3 108
69044	CHARBONNIERES-LES-BAINS	4 919	2 132	2 049	1 173	873	2 046
69046	CHARLY	4 448	2 004	1 657	1 449	198	1 647
69048	CHASSAGNY	1 276	688	427	412	15	428
69049	CHASSELAY	2 695	1 209	1 016	817	200	1 017
69055	LES CHERES	1 440	703	548	400	142	542
69063	COLLONGES-AU-MONT-D'OR	3 911	1 925	1 623	1 084	526	1 610
69068	COUZON-AU-MONT-D'OR	2 598	1 300	1 024	624	409	1 033
69069	CRAPONNE	10 466	5 086	4 464	2 214	2 184	4 398

69071	CURIS-AU-MONT-D'OR	1 147	596	440	345	94	439
69072	DARDILLY	8 538	4 026	3 200	2 033	1 163	3 196
69081	ECULLY	17 787	7 192	7 359	1 771	5 447	7 218
69085	FLEURIEU-SUR-SAONE	1 400	710	532	435	100	535
69087	FONTAINES-SAINT-MARTIN	3 091	1 369	1 041	759	280	1 039
69088	FONTAINES-SUR-SAONE	6 469	3 101	2 889	507	2 374	2 880
69089	FRANCHEVILLE	14 094	6 670	5 486	2 541	2 869	5 410
69091	GIVORS	19 574	8 144	7 683	2 354	5 304	7 657
69096	GRIGNY	9 419	4 626	3 810	1 618	2 173	3 790
69100	IRIGNY	8 361	4 006	3 288	1 827	1 427	3 254
69116	LIMONEST	3 409	1 543	1 285	845	421	1 266
69117	LISSIEU	3 096	1 483	1 153	974	174	1 147
69133	MILLERY	3 909	1 974	1 531	1 192	339	1 531
69136	MONTAGNY	2 693	1 281	1 006	915	97	1 012
69142	LA MULATIERE	6 526	3 033	3 029	226	2 795	3 022
69143	NEUVILLE-SUR-SAONE	7 242	3 389	3 325	917	2 382	3 299
69148	ORLIENAS	2 308	1 163	891	724	162	886
69149	OULLINS	26 072	12 946	12 231	1 901	10 286	12 187
69152	PIERRE-BENITE	10 132	4 845	4 042	1 421	2 604	4 024
69153	POLEYMIEUX-AU-MONT-D'OR	1 308	713	394	367	27	394
69163	QUINCIEUX	3 295	1 681	1 237	950	276	1 226
69168	ROCHETAILLEE-SUR-SAONE	1 527	762	568	361	207	568
69176	SOUCIEU-EN-JARREST	4 198	2 188	1 572	1 206	359	1 565
69179	SAINT-ANDEOL-LE-CHATEAU	1 698	916	672	563	101	664
69191	SAINT-CYR-AU-MONT-D'OR	5 485	2 373	2 082	1 633	446	2 079
69194	SAINT-DIDIER-AU-MONT-D'OR	6 466	2 680	2 481	1 927	541	2 468
69199	SAINT-FONS	17 584	7 559	7 092	1 115	5 854	6 969
69202	SAINTE-FOY-LES-LYON	21 646	9 730	9 337	2 378	6 905	9 283
69204	SAINT-GENIS-LAVAL	20 696	9 660	8 452	3 667	4 678	8 345
69207	SAINT-GERMAIN-AU-MONT-D'OR	2 929	1 458	1 147	662	487	1 149
69213	SAINT-JEAN-DE-TOUSLAS	832	422	333	261	67	328
69219	SAINT-LAURENT-D'AGNY	2 109	1 062	834	694	134	828
69233	SAINT-ROMAIN-AU-MONT-D'OR	1 102	556	436	336	92	428
69241	TALUYERS	2 438	1 182	900	712	180	892
69244	TASSIN-LA-DEMI-LUNE	21 102	10 867	9 678	2 067	7 481	9 548
69256	VAULX-EN-VELIN	44 087	18 620	16 195	3 390	12 687	16 077
69259	VENISSIEUX	61 636	26 222	23 686	3 787	19 464	23 251
69260	VERNAISON	4 582	2 082	1 609	987	619	1 606
69266	VILLEURBANNE	147 192	73 664	70 443	4 308	64 625	68 933
69268	VOURLES	3 207	1 591	1 190	890	301	1 191
69270	CHAPONNAY	3 869	1 846	1 478	1 242	235	1 477
69271	CHASSIEU	9 837	4 797	3 751	2 694	1 054	3 748
69272	COMMUNAY	4 128	2 039	1 544	1 323	215	1 538
69273	CORBAS	10 968	5 002	3 854	2 525	1 385	3 910
69275	DECINES-CHARPIEU	26 826	12 717	10 965	4 004	6 865	10 868
69276	FEYZIN	9 377	4 498	3 452	1 969	1 454	3 423
69277	GENAS	12 341	6 287	4 584	3 588	923	4 511
69278	GENAY	5 251	2 593	2 054	1 265	783	2 048
69279	JONAGE	5 843	2 992	2 114	1 931	162	2 093
69281	MARENNES	1 552	812	585	516	65	581
69282	MEYZIEU	31 438	14 138	11 766	7 181	4 457	11 638
69283	MIONS	12 485	6 115	4 482	3 645	774	4 419
69284	MONTANAY	2 934	1 434	1 054	958	96	1 054
69286	RILLIEUX-LA-PAPE	30 645	13 004	11 839	3 124	8 680	11 804

69287	SAINT-BONNET-DE-MURE	6 818	3 407	2 503	1 953	543	2 497
69289	SAINT-PIERRE-DE-CHANDIEU	4 615	2 336	1 762	1 534	222	1 756
69290	SAINT-PRIEST	42 950	20 110	17 195	4 742	12 395	17 137
69291	SAINT-SYMPHORIEN-D'OZON	5 503	2 776	2 168	1 361	805	2 166
69292	SATHONAY-CAMP	4 715	2 401	2 084	496	1 585	2 080
69293	SATHONAY-VILLAGE	2 326	1 168	816	665	151	816
69294	SEREZIN-DU-RHONE	2 632	1 350	1 060	681	383	1 064
69295	SIMANDRES	1 691	901	628	505	123	628
69296	SOLAIZE	2 990	1 479	1 109	898	209	1 107
69297	TERNAY	5 382	2 489	2 017	1 681	335	2 016
69298	TOUSSIEU	2 542	1 256	919	820	99	919
69381	LYON 1ER ARRONDISSEMENT	29 313	16 853	15 551	94	15 308	15 402
69382	LYON 2E ARRONDISSEMENT	30 804	15 571	16 559	40	16 376	16 416
69383	LYON 3E ARRONDISSEMENT	98 956	54 567	50 271	1 944	47 409	49 353
69384	LYON 4E ARRONDISSEMENT	36 336	19 169	18 088	515	17 445	17 960
69385	LYON 5E ARRONDISSEMENT	46 630	22 060	22 166	1 436	20 418	21 853
69386	LYON 6E ARRONDISSEMENT	50 364	25 347	26 156	97	25 873	25 970
69387	LYON 7E ARRONDISSEMENT	77 855	42 336	40 907	257	39 904	40 161
69388	LYON 8E ARRONDISSEMENT	81 531	39 301	39 865	1 887	37 340	39 227
69389	LYON 9E ARRONDISSEMENT	48 926	24 507	22 867	1 144	21 409	22 552
Total		1 518 941	739 191	669 931	162 104	500 250	662 353

Annexe 4 : Distribution de la part des navettes et de la part des kilomètres parcourus en fonction du nombre d'OD communes dans le carré OL

Nb OD communes	% Navettes	% Kilomètres
1	100%	100%
2	80%	70%
3	67%	55%
4	58%	45%
5	51%	38%
6	46%	33%
7	40%	28%
8	36%	24%
9	32%	21%
10	29%	19%
11	26%	17%
12	23%	15%
13	21%	13%
14	18%	11%
15	16%	10%
16	15%	8%
17	13%	7%
18	12%	6%
19	11%	6%
20	10%	5%
21	10%	5%
22	9%	4%
23	8%	4%
24	7%	3%
25	6%	3%
26	6%	3%
27	5%	2%
28	5%	2%
29	5%	2%
30	4%	2%

Tableau 169 : Distribution de la part des navettes et de la part des kilomètres parcourus en fonction du nombre d'OD communes dans le carré OL

Annexe 5 : Données brutes et redressées des navettes des actifs dans le carré OL

Donnée	Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
Brute	765	829	305	12 621	1 279	15 799
	5%	5%	2%	80%	8%	100%
Redressée	3 190	3 064	1 243	52 167	5 242	64 906
	5%	5%	2%	80%	8%	100%
Écart	0,07 %	-0,53 %	-0,02 %	0,49 %	-0,02 %	-

Tableau 170 : Comparaison des distributions brutes et redressées des navettes des actifs du carré OL en fonction des modes de transport déclarés

Donnée	Autre	MàP	Deux-roues	Véhicule	TC	Total
Brute	738	796	167	5898	171	7 770
	9%	10%	2%	76%	2%	100%
Redressée	3 077	2 925	666	23 897	656	31 221
	10%	9%	2%	77%	2%	100%
Écart	0,36 %	-0,88 %	-0,02 %	0,63 %	-0,10 %	-

Tableau 171 : Comparaison des distributions brutes et redressées des navettes internes des actifs du carré OL en fonction des modes de transport déclarés

Les deux tableaux ci-dessus montrent les écarts minimes entre les données relatives calculées à partir des données brutes et des redressées. De l'ordre de quelques dixièmes de pourcent et au regard des unités des résultats en sortie – l'arrondi à l'unité –, nous choisissons de travailler avec des données redressées.

Annexe 6 : Liste des gares et points d'arrêt

Gares	Commune de rattachement	Code INSEE	Adresse
Gare de Vienne	Vienne	38544	Place Pierre Semard – 38200 Vienne
Gare de Lyon-Perrache	Lyon	69382	14, Cours de Verdun – 69002 Lyon
Gare de Lyon-Part-Dieu	Lyon	69383	5, Place Charles Béraudier – 69003 Lyon
Gare de Lyon-Saint-Paul	Lyon	69385	11 bis Place Saint-Paul – 69005 Lyon
Gare de Lyon-Jean Macé	Lyon	69387	Place Jean-Macé – 69007 Lyon
Gare de Lyon-Gorge-de-Loup	Lyon	69389	Rue du professeur Guérin – 69009 Lyon
Gare de Lyon-Vaise	Lyon	69389	2 Place de Paris – 69009 Lyon
Gare d'Écully-la-Demi-Lune	Tassin-la-Demi-Lune	69244	Place de la Gare – 69160 Tassin
Gare de Tassin	Tassin-la-Demi-Lune	69244	Allée des tilleuls – 69160 Tassin
Gare de Tarare	Tarare	69243	place de la Gare – 69170 Tarare
Gare de L'Arbresle	L'Arbresle	69010	3, place de la Gare – 69210 L'Arbresle
Point d'arrêt de Fleurieux-sur-l'Arbresle	Fleurieux-sur-l'Arbresle	69086	69210 Fleurieux-sur-l'Arbresle
Point d'arrêt de Lentilly	Lentilly	69112	69210 Lentilly
Gare de Lentilly - Charpenay	Lentilly	69112	Chemin des molières ZA de Charpenay – 69210 Lentilly
Gare de Sain-Bel	Sain-Bel	69171	Route de Lyon – 69210 Sain-Bel
Gare de Belleville-sur-Saône	Belleville	69019	Place de la Gare – 69220 Belleville Sur Saône
Gare de Lozanne	Lozanne	69121	Place de la Gare – 69220 Lozanne
Gare d'Albigny - Neuville	Albigny-sur-Saône	69003	Place de la Gare – 69250 Albigny Sur Saône
Gare de Couzon-au-Mont-d'Or	Couzon-au-Mont-d'Or	69068	Place de la Gare – 69270 Couzon Au Mont D'Or
Point d'arrêt de Châtillon-d'Azergues	Châtillon	69050	Route D 485 – 69380 Châtillon-d'Azergues
Point d'arrêt de Chessy	Chessy	69056	Départementale 485 – 69380 Chessy
Gare de Chazay - Marcilly	Marcilly-d'Azergues	69125	Route de Chazay – 69380 Chazay-Marcilly
Gare de Villefranche-sur-Saône	Villefranche-sur-Saône	69264	113 place de la Gare – 69400 Villefranche-Sur-Saône
Gare d'Anse	Anse	69009	Route nationale 6 – 69480 Anse
Point d'arrêt de Pontcharra-St-Forgeux	Pontcharra-sur-Turdine	69157	69490 Pontcharra-St-Forgeux
Point d'arrêt de St-Romain-de-Popey	Saint-Romain-de-Popey	69234	Départementale 67 – 69490 St Romain-de-Popey
Point d'arrêt de Chamelet	Chamelet	69039	Route D 82 – 69620 Chamelet
Gare de Charbonnières-les-Bains	Charbonnières-les-Bains	69044	Place de la Gare – 69620 Charbonnières les Bains
Point d'arrêt Le Méridien	Charbonnières-les-Bains	69044	69260 Charbonnières
Point d'arrêt de Bois-d'Oingt-Légnay	Légnay	69111	Départementale 485 – 69620 Bois d'Oingt
Point d'arrêt de Quincieux	Quincieux	69163	69650 Quincieux
Gare de Saint-Germain-au-Mont-d'Or	Saint-Germain-au-Mont-d'Or	69207	Avenue du 2eme Spahis – 69650 St Germain Au Mont D'Or
Gare de Collonges - Fontaines	Collonges-au-Mont-d'Or	69063	4 rue Pierre Pays – 69660 Collonges-Fontaines
Gare de Saint-Georges-de-Reneins	Saint-Georges-de-Reneins	69206	Place de la Gare – 69830 St-Georges De Reneins
Gare de Casino-Lacroix-Laval	La_Tour-de-Salvagny	69250	200 avenue du Casino – 69890 La Tour de Salvagny
Point d'arrêt de La Tour-de-Salvagny	La_Tour-de-Salvagny	69250	69890 La Tour-de-Salvagny

Annexe 7 : Liste des communes du Carré Ouest Strasbourgeois

Code INSEE	Nom	Fonctions	Surface (ha)	Pop2013
67437	Saverne	Sous-préfecture Siège de C.C. Chef-lieu de canton	2637	11609
67300	Molsheim	Sous-préfecture Siège de C.C. Chef-lieu de canton	1069	9233
67520	Wasselonne	Siège de C.C.	1497	5614
67202	Hochfelden	Siège de C.C.	1239	3516
67313	Mutzig	Chef-lieu de canton	842	5864
67282	Marlenheim		1447	4005
67112	Duttlenheim		870	2849
67283	Marmoutier		1416	2702
67089	Dettwiller		1077	2628
67101	Dorlisheim		1150	2521
67226	Ittenheim		697	2161
67172	Griesheim-Pres-Molsheim		467	2151
67302	Monswiller		476	2096
67478	Steinbourg		1261	2008
67480	Still		2314	1830
67128	Ernolsheim-Bruche		658	1798
67080	Dachstein		745	1796
67525	Westhoffen		2066	1671
67168	Gresswiller		955	1609
67460	Schwindratzheim		952	1578
67108	Duppigheim		737	1570
67182	Hangenbieten		420	1496
67452	Schnersheim		1109	1463
67325	Niederhaslach		691	1403
67098	Dinsheim-Sur-Bruche		495	1388
67367	Otterswiller		330	1362
67408	Romanswiller		1173	1310
67150	Furdenheim		597	1301
67065	Breuschwickersheim		516	1274
67008	Altorf		1022	1268
67127	Ergersheim		649	1265
67442	Scharrachbergheim-Irmstett		334	1166
67532	Willgotzheim		922	1090
67473	Soultz-Les-Bains		350	951
67554	Wolxheim		317	927
67548	Wiwersheim		338	886
67247	Kolbsheim		340	853
67363	Osthoffen		524	832
67275	Lupstein		781	808
67382	Quatzenheim		317	808
67335	Nordheim		645	797
67228	Neugartheim-Ittlenheim		422	787
67489	Thal-Marmoutier		344	783
67081	Dahlenheim		545	767
67085	Dangolsheim		465	733
67016	Avolsheim		180	732
67459	Schwenheim		502	727
67534	Wilwisheim		541	716
67517	Wangen		404	707

67410	Rosenwiller		564	689
67030	Bergbieten		447	685
67366	Ottersthal		306	683
67240	Kirchheim		243	674
67492	Traenheim		310	670
67253	Kuttolsheim		474	658
67516	Waltenheim-Sur-Zorn		496	656
67109	Durningen		414	652
67188	Heiligenberg		580	642
67018	Balbronn		1041	635
67107	Duntzenheim		632	621
67425	Saint-Jean-Saverne		650	588
67236	Kienheim		327	586
67214	Hurtigheim		467	576
67287	Melsheim		529	575
67077	Cosswiller		1598	570
67163	Gougenheim		681	549
67423	Saessolsheim		668	546
67515	Waldolwisheim		570	545
67004	Allenwiller		596	535
67138	Fessenheim-Le-Bas		507	534
67208	Hohengoelt		333	521
67139	Flexbourg		180	490
67530	Wickersheim-Wilshausen		548	457
67354	Odratzheim		163	454
67272	Lochwiller		458	441
67149	Furchhausen		274	423
67117	Eckartswiller		1229	417
67312	Mutzenhouse		228	413
67395	Reutenbourg		448	405
67439	Schaffhouse-Sur-Zorn		374	405
67469	Singrist		354	402
67161	Gottenhouse		131	393
67058	Bossendorf		408	378
67542	Wintzenheim-Kochersberg		197	355
67162	Gottesheim		517	344
67220	Ingenheim		538	325
67553	Wolschheim		367	312
67096	Dimbsthal		196	304
67269	Littenheim		419	294
67181	Handschuheim		244	291
67041	Birkenwald		512	283
67406	Rohr		345	266
67209	Hohfrankenheim		276	258
67527	Westhouse-Marmoutier		399	258
67145	Friedolsheim		353	253
67555	Zehnacker		230	249
67431	Salenthal		134	246
67078	Crastatt		340	243
67279	Maennolsheim		279	238
67102	Dossenheim-Kochersberg		181	231
67245	Knoersheim		234	214
67006	Altenheim		270	210
67258	Landersheim		217	205

67383	Rangen		168	201
67556	Zeinheim		248	201
67229	Jetterswiller		345	194
67190	Hengwiller		217	183
67244	Kleingoeft		250	146
67444	Scherlenheim		227	127
Total	Pôles		9 683	41 419
	Hors-pôles		55 093	82 889
	Carré OS		64 776	124 308

Base Log2007	Appartements	Part	Maisons	Part	Total Logements	Part
Pôles	8 739	19 %	8 018	17 %	16 757	36 %
Hors pôles	4 357	9 %	24 993	54 %	29 350	64 %
Total carré OS	13 097	28 %	33 011	72 %	46 107	

8 INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableaux

Tableau 1 : Les quatre configurations spatio-fonctionnelles cibles.....	4
Tableau 2 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré OL.....	8
Tableau 3 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré OS.....	8
Tableau 4 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré CM.....	8
Tableau 5 : Scénarios de covoiturage domicile-travail dans les trois carrés	9
Tableau 6 : Scénarios de parts modales TC dans les trois carrés.....	9
Tableau 7 : Scénarios de parts modales vélo-VAE dans les trois carrés	10
Tableau 8 : Effets séparés sur les émissions de CO ₂ des différents leviers dans les trois carrés.....	10
Tableau 9 : Effets combinés des différents leviers dans les trois carrés	11
Tableau 10 : Effets propres de la localisation résidentielle de la population nouvelle prévue en 2050 dans les trois carrés (hors leviers)	11
Tableau 11 : Effets propres de la localisation résidentielle de la population nouvelle prévue en 2042 à Strasbourg et à Mulhouse.....	12
Tableau 12 : Effets de politiques fortes en faveur des transports collectifs à Strasbourg et à Mulhouse.....	12
Tableau 13 : Effets combinés des différents leviers sur les émissions de CO ₂ , dans les cas de Strasbourg et Mulhouse	12
Tableau 14 : Effet des configurations spatio-fonctionnelles sur les émissions de polluants réglementés, dans les cas de Strasbourg et Mulhouse	13
Tableau 15 : Les quatre configurations spatio-fonctionnelles cibles.....	21
Tableau 16 : Adaptation des configurations spatio-fonctionnelles au carré métropolitain lyonnais ..	26
Tableau 17 : Evolutions en effectif, pour l'ensemble des scénarios (territoire de Strasbourg)	32
Tableau 18 : Evolution pour les scénarios d'éparpillement, toutes communes (territoire de Strasbourg).....	32
Tableau 19 : Evolution pour les scénarios de polarités, communes ciblées (territoire de Strasbourg)	33
Tableau 20 : Evolutions en effectif, pour l'ensemble des scénarios (territoire de Mulhouse)	35
Tableau 21 : Evolution pour les scénarios d'éparpillement, toutes communes (territoire de Mulhouse)	36
Tableau 22 : Evolution pour les scénarios de polarités, communes ciblées (territoire de Mulhouse)	36
Tableau 23 : Projections Omphale sur le carré Ouest Lyonnais	50
Tableau 24 : Projections de population dans le carré OL selon les configurations spatio-fonctionnelles	51
Tableau 25 : Parts modales (boucles), population totale, tous motifs (carré OL, source EMD Lyon 2015)	52
Tableau 26 : Moyenne des kilomètres parcourus par boucle, population totale, tous modes, tous motifs (carré OL, source EMD Lyon 2015).....	53
Tableau 27 : Scénarios d'émissions et de mobilité appliqués par catégorie de boucles (carré OL) ..	53
Tableau 28 : Résultats de simulation du potentiel maximal de covoiturage (carré OL).....	55
Tableau 29 : Résultats de simulation du covoiturage (carré OL)	55
Tableau 30 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement maximal (carré OL).....	55
Tableau 31 : Résultats de simulation du covoiturage avec arrangement maximal (carré OL)	56
Tableau 32 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement et arrangement maximaux (carré OL).....	56
Tableau 33 : Statistiques de distances des boucles pour le travail (carré OL).....	57
Tableau 34 : Statistiques de distances des boucles pour l'école primaire (carré OL)	57

Tableau 35 : Statistiques de distances des boucles pour le collège (carré OL)	58
Tableau 36 : Statistiques de distances des boucles pour le lycée (carré OL).....	58
Tableau 37 : Statistiques de distances des boucles tous modes et tous motifs des « inactifs » (carré OL)	59
Tableau 38 : Parts des motifs dans les boucles des « inactifs » (carré OL)	59
Tableau 39 : Récapitulatif des scénarios vélo pour le carré OL	60
Tableau 40 : Parts de marché des TC dans les boucles (carré OL, EMD 2015).....	60
Tableau 41 : Répartition des actifs du carré OL en fonction de leur mode de transport déclaré (Mobpro 2013)	61
Tableau 42 : Répartition modale des actifs du carré OL sur les OD effectuées en TC en intra-carré OL	62
Tableau 43 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation maximale TC en intra-carré OL	62
Tableau 44 : Répartition modale des actifs du carré OL sur OD extra-communales effectuées en TC en intra-carré OL	63
Tableau 45 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation TC en intra-carré OL.....	63
Tableau 46 : Répartition modale des actifs du carré OL sur OD entre gares effectuées en TC en intra-carré OL.....	63
Tableau 47 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation TC (gares) en intra-carré OL	63
Tableau 48 : Répartition modale des actifs du carré OL sur OD reliées par train effectuées en TC en intra-carré OL.....	64
Tableau 49 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation TC (services ferrés) en intra-carré OL	64
Tableau 50 : Répartition modale des navettes vers Lyon avec possibilité de correspondance métro et correspondance métro-tram (carré OL).....	64
Tableau 51 : Répartition modale des actifs du carré OL sur les OD reliées à « Lyon-métro » par train	65
Tableau 52 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation sur les OD reliées à « Lyon-métro » par train.....	65
Tableau 53 : Répartition modale des actifs du carré OL sur les OD reliées à « Lyon-métro » par TC	65
Tableau 54 : Répartition modale des actifs du carré OL après imitation sur les OD reliées à « Lyon-métro » par TC	65
Tableau 55 : Répartition modale des boucles études des collégiens (carré OL).....	66
Tableau 56 : Répartition modale des boucles études des lycéens (carré OL).....	66
Tableau 57 : Récapitulatif des scénarios TC pour le carré OL	67
Tableau 58 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré OL.....	67
Tableau 59 : Résultats des simulations sur le carré OL	69
Tableau 60 : Projections Omphale sur le carré Métropolitain Lyonnais	72
Tableau 61 : Projections de population dans le carré Métropolitain Lyonnais selon les configurations spatio-fonctionnelles	74
Tableau 62 : Parts modales (boucles), population totale, tous motifs (carré CM, source EMD Lyon 2015)	76
Tableau 63 : Moyenne des kilomètres parcourus par boucle, population totale, tous modes, tous motifs (carré CM, source EMD Lyon 2015).....	76
Tableau 64 : Scénarios de technologie et de mobilité appliqués par catégorie de boucles (carré CM)	77
Tableau 65 : Résultats de simulation du potentiel maximal de covoiturage (carré CM).....	79
Tableau 66 : Résultats de simulation du covoiturage (carré CM).....	79
Tableau 67 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement maximal (carré CM).....	79
Tableau 68 : Résultats de simulation du covoiturage avec arrangement maximal (carré CM)	80

Tableau 69 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement et arrangement maximaux (carré CM).....	80
Tableau 70 : Statistiques de distances des boucles pour le travail (carré CM).....	81
Tableau 71 : Statistiques de distances des boucles pour l'école primaire (carré CM).....	81
Tableau 72 : Statistiques de distances des boucles pour le collège (carré CM).....	82
Tableau 73 : Statistiques de distances des boucles pour le lycée (carré CM).....	82
Tableau 74 : Statistiques de distances des boucles tous modes pour motifs des « inactifs » (carré CM).....	83
Tableau 75 : Parts des motifs dans les boucles des « inactifs » (carré CM).....	83
Tableau 76 : Récapitulatif des scénarios vélo pour le carré CM.....	84
Tableau 77 : Répartition des actifs du carré CM en fonction de leur mode de transport déclaré (Mobpro 2013).....	85
Tableau 78 : Répartition modale des actifs du carré CM sur les OD effectuées à l'intérieur du périmètre CM.....	85
Tableau 79 : Répartition modale des actifs du carré CM sur les OD effectuées en TC.....	85
Tableau 80 : Répartition modale des actifs du carré CM après imitation maximale TC.....	86
Tableau 81 : Répartition modale des actifs du carré CM sur les OD intra-communales effectuées en TC.....	86
Tableau 82 : Répartition modale des actifs du carré CM après imitation TC sur les OD intra-communales.....	86
Tableau 83 : Répartition modale des actifs du carré CM sur les OD extra-communales effectuées en TC.....	86
Tableau 84 : Répartition modale des actifs du carré CM après imitation TC sur les OD extra-communales.....	86
Tableau 85 : Répartition modale des boucles études des collégiens dans le carré CM.....	87
Tableau 86 : Répartition modale des boucles études des lycéens dans le carré CM.....	87
Tableau 87 : Récapitulatif des scénarios TC dans le carré CM.....	88
Tableau 88 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré CM.....	88
Tableau 89 : Résultats des simulations sur le carré CM.....	90
Tableau 90 : Projections Omphale sur le carré Ouest Strasbourgeois.....	93
Tableau 91 : Projections de population dans le carré OS selon les configurations spatio-fonctionnelles.....	94
Tableau 92 : Parts modales (boucles), population totale, tous motifs (carré OS, source EMD Strasbourg 2009).....	95
Tableau 93 : Moyenne des kilomètres parcourus par boucle, population totale, tous modes, tous motifs (carré OS, source EMD Strasbourg 2009).....	96
Tableau 94 : Scénarios d'émissions et de mobilité appliqués par catégorie de boucles (carré OS).....	96
Tableau 95 : Résultats de simulation du potentiel maximal de covoiturage (carré OS).....	98
Tableau 96 : Résultats de simulation du covoiturage (carré OS).....	98
Tableau 97 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement maximal (carré OS).....	99
Tableau 98 : Résultats de simulation du covoiturage avec arrangement maximal (carré OS).....	99
Tableau 99 : Résultats de simulation du covoiturage avec changement et arrangement maximaux (carré OS).....	99
Tableau 100 : Statistiques de distances des boucles pour le travail (carré OS).....	100
Tableau 101 : Statistiques de distances des boucles pour l'école primaire (carré OS).....	100
Tableau 102 : Statistiques de distances des boucles pour le collège (carré OS).....	101
Tableau 103 : Statistiques de distances des boucles pour le lycée (carré OS).....	101
Tableau 104 : Statistiques de distances des boucles tous modes pour motifs des « inactifs » (carré OS).....	102
Tableau 105 : Parts des motifs dans les boucles des « inactifs » (carré OS).....	102
Tableau 106 : Récapitulatif des scénarios vélo sur le carré OS.....	103
Tableau 107 : Parts de marché des TC dans les boucles (carré OS, EMD 2009).....	103

Tableau 108 : Répartition des actifs du carré OS en fonction de leur mode de transport déclaré (Mobpro 2013).....	104
Tableau 109 : Répartition modale des actifs du carré OS sur les OD effectuées en TC en intra-carré OS.....	105
Tableau 110 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation maximale TC en intra-carré OS.....	105
Tableau 111 : Répartition modale des actifs du carré OS sur OD extra-communales effectuées en TC en intra-carré OS.....	106
Tableau 112 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation TC en intra-carré OS (navettes extracommunales).....	106
Tableau 113 : Répartition modale des actifs du carré OS sur OD reliées par train effectuées en TC en intra-carré OS.....	106
Tableau 114 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation TC (services ferrés) en intra-carré OS.....	106
Tableau 115 : Répartition modale des actifs du carré OS sur les OD reliées à « Strasbourg-tram » par train.....	107
Tableau 116 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation sur les OD reliées à « Strasbourg-tram » par train.....	107
Tableau 117 : Répartition modale des actifs du carré OS sur les OD reliées à « Strasbourg-tram » par TC.....	107
Tableau 118 : Répartition modale des actifs du carré OS après imitation sur les OD reliées à « Strasbourg-tram » par TC.....	107
Tableau 119 : Répartition modale des boucles études des collégiens (carré OS).....	108
Tableau 120 : Répartition modale des boucles études des lycéens (carré OS).....	108
Tableau 121 : Récapitulatif des scénarios TC sur le carré OS.....	109
Tableau 122 : Effets d'une relocalisation de la population à l'intérieur du carré OS.....	109
Tableau 123 : Résultats des simulations sur le carré OS.....	111
Tableau 124 : Rappel des configurations spatio-fonctionnelles définies pour la modélisation.....	115
Tableau 125 : Hypothèses d'évolution de la flotte de véhicules particuliers, source : Thema, projections à partir du modèle de parc du CGDD.....	115
Tableau 126 : Scénarios d'urbanisation selon la configuration.....	116
Tableau 127 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière (Strasbourg).....	118
Tableau 128 : Kilomètres parcourus par jour en TC - pkm (Strasbourg).....	118
Tableau 129 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière (Mulhouse).....	118
Tableau 130 : Bilan CO ₂ total (Strasbourg).....	118
Tableau 131 : Bilan CO ₂ total (Mulhouse).....	119
Tableau 132 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière – scénario VAE (Strasbourg).....	123
Tableau 133 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière – scénario VAE (Mulhouse).....	123
Tableau 134 : Evolution de la part modale TC (Strasbourg).....	123
Tableau 135 : Evolution de la part modale TC (Mulhouse).....	123
Tableau 136 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière - Veh.km (Strasbourg).....	126
Tableau 137 : Kilomètres parcourus par jour en TC- pkm (scénario TC, Strasbourg).....	126
Tableau 138 : Kilomètres parcourus par jour en voiture particulière - Veh.km (Mulhouse).....	126
Tableau 139 : Nombre de déplacements total (Strasbourg).....	126
Tableau 140 : Nombre de déplacements total (Mulhouse).....	127
Tableau 141 : Evolution des coûts de logement (Strasbourg).....	127
Tableau 142 : Augmentation des temps de parcours pour les zones d'où sont émis les déplacements les plus longs (Strasbourg).....	130
Tableau 143 : Augmentation des temps de parcours pour les zones d'où sont émis les déplacements les plus longs (Mulhouse).....	133

Tableau 144 : Augmentation des temps de parcours pour les zones d'où sont émis les déplacements les plus longs (scénario TC, Mulhouse).....	134
Tableau 145 : coûts kilométriques VP, source extrapolations EIFER à partir de calculs CGDD ...	136
Tableau 146 : coûts kilométriques TC, source : exercice interne EIFER.....	136
Tableau 147 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation du VP (Strasbourg).....	136
Tableau 148 : Evolution des coûts globaux dus à l'usage des TC (Strasbourg).....	137
Tableau 149 : Evolution des coûts globaux liés à l'usage des VP et TC (Strasbourg).....	137
Tableau 150 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation du VP (scénario TC, Strasbourg)....	137
Tableau 151 : Evolution des coûts globaux dus à l'usage des TC (scénario TC, Strasbourg)	138
Tableau 152 : Evolution des coûts globaux liés à l'usage des VP et TC (scénario TC, Strasbourg)	138
Tableau 153 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation du VP (Mulhouse)	138
Tableau 154 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation des TC (Mulhouse).....	139
Tableau 155 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation des VP et TC (Mulhouse).....	139
Tableau 156 : Evolution des coûts globaux dus à l'utilisation du VP (scénario TC, Mulhouse).....	139
Tableau 157 : Evolution de la consommation énergétique pour les véhicules particuliers et bus (référence pour Strasbourg)	140
Tableau 158 : Evolution de la consommation énergétique pour les véhicules particuliers et bus (Scénario TC pour Strasbourg)	140
Tableau 159 : Evolution de la consommation énergétique pour les véhicules particuliers et les bus (référence pour Mulhouse).....	141
Tableau 160 : Evolution de la consommation énergétique pour les véhicules particuliers et les bus (scénario TC pour Mulhouse)	141
Tableau 161 : Bilan CO ₂ (Strasbourg)	141
Tableau 162 : Bilan CO ₂ (Mulhouse).....	142
Tableau 163 : Facteurs d'émissions pour les polluants locaux, source : extrapolation EIFER d'après HBEFA (juillet 2017).....	142
Tableau 164 : Evolution du bilan des polluants locaux, sans politique de transport en commun (Strasbourg).....	143
Tableau 165 : Evolution du bilan des polluants locaux, avec politique de transport en commun (Strasbourg).....	143
Tableau 166 : Evolution du bilan des polluants locaux, sans politique de transport en commun (Mulhouse).....	143
Tableau 167 : Evolution du bilan des polluants locaux, avec politique de transport en commun (Mulhouse).....	143
Tableau 168 : Facteurs d'émission HBEFA (v 3.3 Avril 2017)	153
Tableau 169 : Distribution de la part des navettes et de la part des kilomètres parcourus en fonction du nombre d'OD communes dans le carré OL	162
Tableau 170 : Comparaison des distributions brutes et redressées des navettes des actifs du carré OL en fonction des modes de transport déclarés.....	163
Tableau 171 : Comparaison des distributions brutes et redressées des navettes internes des actifs du carré OL en fonction des modes de transport déclarés	163

Figures

Figure 1 : Le carré Ouest Lyonnais et ses 4 pôles	23
Figure 2 : Le carré Métropolitain Lyonnais : couronnes et pôles	25
Figure 3 : Le carré Ouest Strasbourgeois et ses 4 pôles.....	27
Figure 4 : Périmètre du SCOTERS (Source : SCOTERS.org, 2013)	29
Figure 5 : Zonage du périmètre d'étude autour de la commune de Strasbourg (Source : EIFER, 2016)	30
Figure 6 : Zones « polarités » pour les scénarios correspondants, territoire de Strasbourg.....	31

Figure 7 : Périmètres actuel (2017) et antérieur (2013) de l'agglomération de Mulhouse (mulhouse-alsace.fr).....	33
Figure 8 : Zonage du périmètre d'étude autour de la commune de Mulhouse.....	34
Figure 9 : Zones « polarités » pour les scénarios correspondants, territoire de Mulhouse.....	35
Figure 10 : Parts des navettes domicile-travail et des distances en fonction du nombre d'OD communes (données brutes et données redressées) (carré OL)	54
Figure 11 : Parts des navettes domicile-travail et des distances en fonction du nombre d'OD communes (données brutes et données redressées) sur le carré métropolitain lyonnais	78
Figure 12 : Parts des navettes domicile-travail et des distances en fonction du nombre d'OD communes (données brutes et données redressées) (carré OS).....	97
Figure 13 : Périmètres des cas d'étude.....	115
Figure 14 : Pôles pour chacun des périmètres.....	117
Figure 15 : Distribution modale (Strasbourg).....	121
Figure 16 : Distribution modale (Mulhouse)	121
Figure 17 : Report modal au cours du temps (Strasbourg)	122
Figure 18 : Report modal au cours du temps (Mulhouse).....	122
Figure 19 : Distribution modale (Strasbourg).....	124
Figure 20 : Distribution modale (Mulhouse)	125
Figure 21 : Evolution des coûts de logement entre 2007 et 2042, pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (Strasbourg)	128
Figure 22 : Diagnostic territorial d'accessibilité 2007 pour la voiture particulière (a), le vélo (b), la marche à pied (c) et le bus (d) (Strasbourg).....	130
Figure 23 : Accessibilité à l'horizon 2042 pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (Strasbourg).....	131
Figure 24 : Accessibilité à l'horizon 2042 pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (scénario TC, Strasbourg)	131
Figure 25 : Diagnostic territorial d'accessibilité 2007 pour la voiture particulière (a), la marche à pied (b) et le bus (c) (Mulhouse).....	132
Figure 26 : Accessibilité à l'horizon 2042 pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (Mulhouse).....	133
Figure 27 : Accessibilité à l'horizon 2042 pour les configurations PE (a), PI (b), EE (c) et EI (d) (scénario TC, Mulhouse).....	135
Figure 28 : Les deux carrés lyonnais	156

TABLE DES MATIERES

SYNTHESE	1
INTRODUCTION	17
1 FORMES URBAINES ET MOBILITES : QUELLES POLITIQUES PUBLIQUES POUR LES TERRITOIRES PERIURBAINS ?	18
2 METHODOLOGIE : SCENARIOS ET CONFIGURATIONS SPATIO-FONCTIONNELLES	20
2.1 Une démarche scénariale	20
2.2 Les configurations spatio-fonctionnelles	21
2.2.1 <i>Le « carré Ouest Lyonnais »</i>	22
2.2.2 <i>Le « carré Métropolitain Lyonnais »</i>	24
2.2.3 <i>Le « carré Ouest Strasbourgeois »</i>	26
2.2.4 <i>L'agglomération de Strasbourg</i>	28
2.2.5 <i>L'agglomération de Mulhouse</i>	33
2.3 Les leviers de l'urbanisation, de la technologie et des comportements	36
2.3.1 <i>Le levier propre de l'urbanisation</i>	36
2.3.2 <i>Le cas du logement</i>	37
2.3.3 <i>Leviers technologiques, facteurs d'émission des véhicules</i>	37
2.3.3.1 <i>Pour la voiture particulière</i> :	37
2.3.3.2 <i>Pour les transports collectifs</i>	39
2.3.3.3 <i>Parc de véhicules</i>	40
2.3.3.4 <i>Scénarios « bas » et « haut »</i>	40
2.3.4 <i>Leviers comportementaux</i>	40
2.4 Les outils : modélisation MARS et analyse du potentiel de changement	40
2.4.1 <i>Le modèle MARS</i>	40
2.4.2 <i>L'analyse du potentiel de changement pour les trois « carrés »</i>	41
2.4.2.1 <i>Méthode de projection des mobilités</i>	41
2.4.2.2 <i>Scénarios de covoiturage</i>	44
2.4.2.3 <i>Scénarios de vélo-VAE</i>	45
2.4.2.4 <i>Scénarios d'offre de transports collectifs</i>	46
2.5 Les indicateurs	47
2.5.1 <i>Effets environnementaux</i>	48
2.5.2 <i>Effets économiques</i>	49
2.5.3 <i>Effets sociaux</i>	49
3 SIMULATIONS DE FORMES URBAINES SUR LES TROIS « CARRÉS »	50
3.1 Simulations sur le carré Ouest Lyonnais	50
3.1.1 <i>Description des mobilités dans le carré OL</i>	51
3.1.1.1 <i>La mobilité des actifs pour le travail</i>	51
3.1.1.2 <i>Les « primaires » (5-10 ans)</i>	51
3.1.1.3 <i>Les « collégiens » (11-14 ans)</i>	51
3.1.1.4 <i>Les « lycéens » (15-17 ans)</i>	52
3.1.1.5 <i>Les autres motifs</i>	52
3.1.2 <i>Application des scénarios de mobilité</i>	53
3.1.3 <i>Estimation du covoiturage effectif pour le carré OL</i>	53
3.1.4 <i>Potentiels de part modale en vélo-VAE dans le carré OL</i>	56
3.1.4.1 <i>Les actifs pour aller au travail</i>	57
3.1.4.2 <i>Les 5-10 ans pour aller à l'école</i>	57
3.1.4.3 <i>Les 11-14 ans pour aller au collège</i>	58
3.1.4.4 <i>Les 15-17 ans pour aller au lycée</i>	58
3.1.4.5 <i>Le reste de la population</i>	59
3.1.4.6 <i>Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales</i>	60

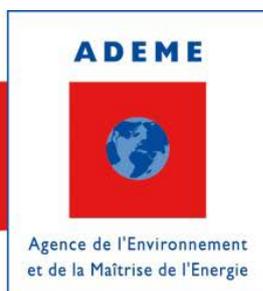
3.1.5	<i>Scénarios TC dans le carré OL</i>	60
3.1.5.1	Données.....	61
3.1.5.2	Méthode	61
3.1.5.3	Résultats	62
3.1.5.4	Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales.....	67
3.1.6	<i>Résultats des simulations sur le carré OL</i>	67
3.1.7	<i>Conclusion : les enjeux pour le périurbain lyonnais</i>	71
3.2	Simulations sur le carré Métropolitain Lyonnais	72
3.2.1	<i>Description des mobilités dans le carré CM</i>	75
3.2.1.1	La mobilité des actifs pour le travail.....	75
3.2.1.2	Les « primaires » (5-10 ans)	75
3.2.1.3	Les « collégiens » (11-14 ans)	75
3.2.1.4	Les « lycéens » (15-17 ans)	75
3.2.1.5	Les autres motifs	75
3.2.2	<i>Application des scénarios de mobilité</i>	76
3.2.3	<i>Estimation du covoiturage pour le carré métropolitain lyonnais</i>	77
3.2.4	<i>Potentiels de part modale en vélo-VAE dans le carré CM</i>	80
3.2.4.1	Les actifs pour aller au travail :.....	81
3.2.4.2	Les 5-10 ans pour aller à l'école	81
3.2.4.3	Les 11-14 ans pour aller au collège	82
3.2.4.4	Les 15-17 ans pour aller au lycée	82
3.2.4.5	Le reste de la population	83
3.2.4.6	Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales.....	84
3.2.5	<i>Scénarios TC dans le carré CM</i>	84
3.2.5.1	Données.....	84
3.2.5.2	Méthode	85
3.2.5.3	Résultats	85
3.2.5.4	Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales.....	88
3.2.6	<i>Résultats des simulations sur le carré CM</i>	88
3.2.7	<i>Conclusion : les enjeux pour le carré métropolitain lyonnais</i>	92
3.3	Simulations sur le carré Ouest Strasbourgeois	93
3.3.1	<i>Description des mobilités dans le carré OS</i>	94
3.3.1.1	La mobilité des actifs pour le travail.....	94
3.3.1.2	Les « primaires » (5-10 ans)	94
3.3.1.3	Les « collégiens » (11-14 ans)	94
3.3.1.4	Les « lycéens » (15-17 ans)	95
3.3.1.5	Les autres motifs	95
3.3.2	<i>Application des scénarios de mobilité</i>	96
3.3.3	<i>Estimation du covoiturage effectif pour le carré OS</i>	96
3.3.4	<i>Potentiels de part modale en vélo-VAE dans le carré OS</i>	99
3.3.4.1	Les actifs pour aller au travail.....	100
3.3.4.2	Les 5-10 ans pour aller à l'école	100
3.3.4.3	Les 11-14 ans pour aller au collège	101
3.3.4.4	Les 15-17 ans pour aller au lycée	101
3.3.4.5	Le reste de la population	102
3.3.4.6	Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales.....	103
3.3.5	<i>Scénarios TC dans le carré OS</i>	103
3.3.5.1	Données.....	104
3.3.5.2	Méthode	104
3.3.5.3	Résultats	105
3.3.5.4	Récapitulatif et méthode pour modifier les parts modales.....	109
3.3.6	<i>Résultats des simulations sur le carré OS</i>	109

	3.3.7 Conclusion : les enjeux pour le périurbain strasbourgeois.....	113
4	SIMULATIONS DE FORMES URBAINES SUR STRASBOURG ET MULHOUSE	114
	4.1 Simulation de la mobilité sous MARS	114
	4.1.1 Cas d'étude	114
	4.1.2 Scénarisation.....	115
	4.2 Simulation de l'habitat (logement)	116
	4.2.1 Scénarisation.....	116
	4.2.2 Simulations.....	117
	4.3 Analyses des résultats de scénarios pour Strasbourg et Mulhouse	120
	4.3.1 Mobilité.....	120
	4.3.1.1 Scénario Vélo – VAE.....	120
	4.3.1.2 Scénario TC	123
	4.3.2 Evolution socio-économique	127
	4.3.2.1 Coûts du logement	127
	4.3.2.2 Accessibilité	129
	4.3.2.3 Coûts liés à l'utilisation de mode de transport.....	136
	4.3.3 Environnement et énergie	139
	4.3.3.1 Consommation énergétique en phase d'usage	139
	4.3.3.2 Emissions de CO ₂ avec application de politiques de transport	141
	4.3.3.3 Emissions de polluants réglementés	142
	4.4 Synthèse.....	144
5	CONCLUSIONS	145
6	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	150
7	ANNEXES	152
8	INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	168

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr