

## **LA MOBILITE QUOTIDIENNE FACE A LA CONTRAINTE CARBONE : QUELLES POLITIQUES PRIVILEGIER ?**

Charles Raux<sup>a\*</sup>, Lény Grassot<sup>a</sup>, Eric Charmes<sup>b</sup>, Elise Nimal<sup>c</sup>, Marie Sevenet<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Université de Lyon, CNRS, LAET, F-69007, LYON, France

<sup>b</sup> Université de Lyon, ENTPE, EVS-RIVES, F-69120, LYON, France

<sup>c</sup> Karlsruhe Institute of Technology, EIFER, D-76131, KARLSRUHE, Allemagne

\* auteur correspondant: email: charles.raux@laet.ish-lyon.cnrs.fr,  
adresse : LAET, MSH, 14 av. Berthelot, 69363 Lyon Cedex 07, France.

### Pour citer cet article :

Charles Raux, Lény Grassot, Eric Charmes, Elise Nimal, Marie Sevenet, 2018. La mobilité quotidienne face à la contrainte carbone : Quelles politiques privilégier ? *Les Cahiers Scientifiques du Transport*. N° 74/2018 - Pages 83-116.

## **LA MOBILITE QUOTIDIENNE FACE A LA CONTRAINTE CARBONE : QUELLES POLITIQUES PRIVILEGIER ?**

### **Résumé**

La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) vise pour le secteur du transport une réduction, par rapport à 2013, de 30% des émissions de CO<sub>2</sub>eq en 2030 et de 70% à l'horizon 2050. Cet article analyse les marges de manœuvre concernant la mobilité du quotidien pour contribuer à cet objectif. Le cadre d'analyse est celui d'un monde « raisonnable », où les collectivités locales pourraient agir d'une part sur les choix des lieux de résidence des populations nouvelles anticipées, d'autre part sur les choix de mobilité, en favorisant certains modes de déplacements plutôt que d'autres. Dans ce monde raisonnable, on s'interdit d'une part d'imposer des déménagements à la population existante, d'autre part de réduire l'intensité actuelle de mobilité quotidienne, exprimée en nombre de sorties et lieux fréquentés. Trois territoires relativement contrastés sont étudiés : d'une part deux territoires périurbains autour de Lyon et Strasbourg, d'autre part un territoire urbain dense, celui de la métropole de Lyon. Nous montrons que des scénarios combinant maîtrise des émissions unitaires des véhicules et nouveaux comportements modaux, à base de covoiturage et de vélo, y compris à assistance électrique, permettraient d'atteindre les objectifs de la SNBC pour la mobilité du quotidien. Tous les leviers n'ont pas le même impact : les différentes alternatives de localisation de la population nouvelle envisagée d'ici à 2050 ne représentent que peu d'enjeux, du moins du point de vue du critère carbone. En outre, le coût social et politique d'une localisation résidentielle « dirigée » de la population nouvelle modère l'intérêt d'une telle mesure.

**JEL** : R41, R42

**Mots-clés** : mobilité quotidienne ; contrainte carbone ; simulations ; Lyon ; Strasbourg ; urbain ; périurbain

## INTRODUCTION

Les conséquences du changement climatique, entre sécheresses, inondations et autres événements météorologiques violents, occupent de plus en plus les devants de la scène médiatique mondiale. Dans le cadre de ses engagements internationaux en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la France a instauré par la loi une Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC ; MEDDE, 2017). La SNBC a défini des « budgets » d'émission pour chaque secteur d'activité, dont le transport, qui se traduisent pour ce dernier en un objectif de réduction, par rapport à 2013, de 30% des émissions de CO<sub>2</sub>eq en 2030 et « d'au moins 70% » à l'horizon 2050.

Cet objectif se révèle particulièrement ardu à atteindre pour le secteur des transports, dans un contexte de poursuite de la périurbanisation. En résidant de plus en plus loin du centre, les actifs ou les étudiants qui se rendent de leur domicile à leur lieu de travail ou d'études, parcourent de plus grandes distances pour leurs déplacements quotidiens et émettent de plus en plus de CO<sub>2</sub> pour ceux-ci (Nirascou, 2012). Simultanément, l'équipement automobile des ménages et son usage s'est particulièrement renforcé dans les périphéries urbaines (Armoogum et al, 2010) bien que l'on constate ces dernières années une stagnation, voire une diminution de la mobilité automobile par personne aussi bien dans les zones urbaines que dans les espaces peu denses (Grimal et al, 2013 ; Hubert et al, 2016). Ces déplacements venant des périphéries urbaines sont générateurs de congestion sur les voies d'accès aux zones urbaines. Ces kilomètres parcourus en voiture en périphérie sont aussi générateurs de pollution atmosphérique locale, outre les émissions de gaz à effet de serre déjà évoquées. Ces mêmes phénomènes sont constatés dans d'autres pays (Glaeser et Kahn, 2010 ; Brownstone et Golob, 2009).

Face à cela, une des réponses serait de revenir à la ville compacte en favorisant la densité ou plutôt l'intensification, synonyme de mixités fonctionnelle et sociale, d'alternatives de mobilités et d'économies d'énergie (Fouchier, 1998, 2010). Le débat entre opposants et promoteurs de la ville compacte fait rage depuis plusieurs années déjà aux Etats-Unis (Gordon, 1997 ; Ewing, 1997 ; Echenique *et al.*, 2012) et continue dans la sphère francophone (Chalas, 2000 ; Wiel, 1999, 2010 ; Munafò, 2017). Ce débat n'est pas traité dans le cadre de cet article, mais nous retenons l'attention accordée à la concentration de l'urbanisation dans des pôles particuliers, ceci d'autant plus que la densification des pôles ou des bourgs centres est souvent un des axes clés des documents de planification.

Nous proposons une analyse des marges de manœuvre des collectivités locales pour répondre aux objectifs de la SNBC, en nous plaçant dans un monde « raisonnable » : soit un monde dans lequel les collectivités pourraient agir dans un horizon de 15 à 35 ans, d'une part en orientant de manière plus ou moins autoritaire la localisation résidentielle des populations *nouvelles* anticipées (solde démographique et migratoire), d'autre part en favorisant certains modes de déplacements plutôt que d'autres. Dans ce monde raisonnable on s'interdit, pour d'évidentes raisons d'acceptabilité sociale et politique, d'une part d'imposer des relocalisations forcées à la population existante, d'autre part de réduire l'intensité actuelle de mobilité quotidienne, exprimée en nombre de sorties et lieux fréquentés. Par ailleurs, nous ne traitons pas dans cet article de la manière de parvenir aux situations décrites aux deux horizons – c'est-à-dire comment diriger la localisation résidentielle de la population nouvelle ou encore comment faire changer les comportements de mobilité – mais plutôt de la performance environnementale de ces situations.

Nous montrons dans cet article que, dans ce cadre contraint, des scénarios permettent d'atteindre les objectifs de la SNBC pour la mobilité du quotidien, et ce dans trois territoires relativement contrastés : d'une part deux territoires périurbains autour de Lyon et Strasbourg, d'autre part un territoire urbain dense, celui de la métropole de Lyon.

Dans la section suivante nous présentons nos trois terrains d'étude. Ensuite une section méthodologique détaille notre démarche. Les résultats sont présentés dans la section suivante. Enfin, une dernière section discute ces résultats et apporte nos principales conclusions.

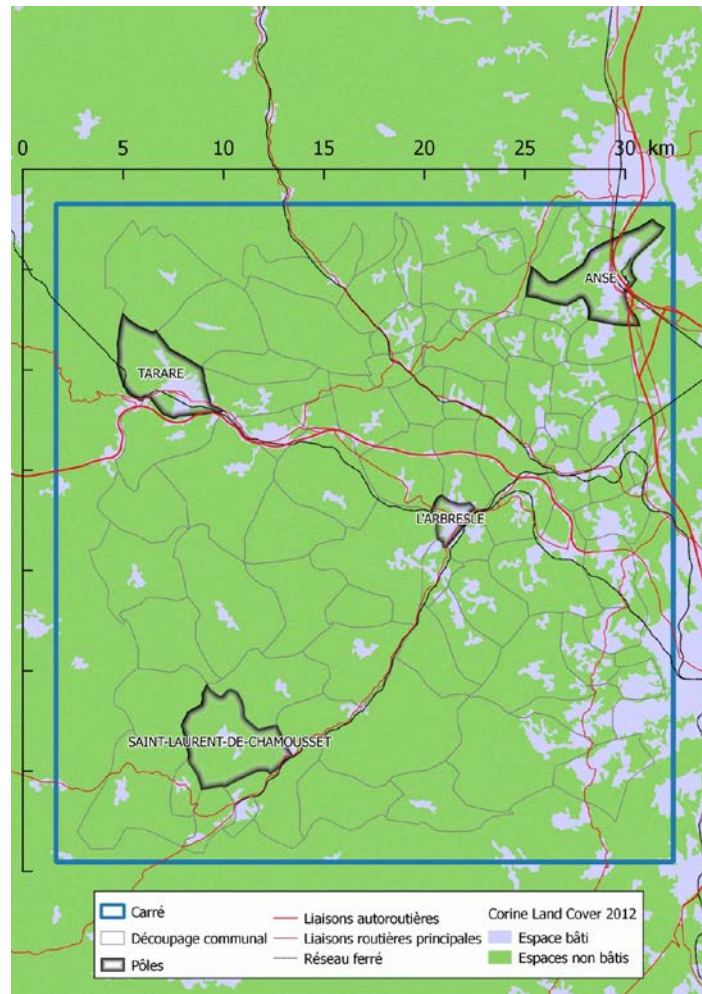
## **1 LES TERRAINS D'ETUDE**

Les terrains d'étude ont été définis en s'inspirant de la démarche de Brès et alii (2011) qui proposent de travailler sur des « carrés » dans le cas des territoires périurbains. Il s'agit de contourner les délimitations politico-administratives et les zonages statistiques préconçus (« périurbain », « rural ») – le plus souvent en référence à la dépendance aux pôles urbains les plus proches, pour préférer un « prélèvement territorial » (selon Brès et alii). En outre, dans le cas des territoires périurbains ou ruraux, un tel prélèvement permet d'éviter que les phénomènes observables soient écrasés par le poids démographique comparativement beaucoup plus important des grands pôles urbains.

Sur cette base, nous avons étudié des zones contrastées par leur forme d'urbanisation, en l'occurrence deux quadrilatères dans le cas de la région métropolitaine de Lyon, avec un contexte plutôt périurbain et un contexte urbain (centré sur la Métropole de Lyon). Un quadrilatère ouest strasbourgeois, également périurbain, a aussi été analysé afin de confirmer ou infirmer les analyses effectuées dans le contexte lyonnais.

Loin de la notion trompeuse d'étalement urbain continu, en tâche d'huile, nos deux quadrilatères périurbains sont des territoires d'urbanisation dispersée, incluant aussi bien des petites unités bâties (du hameau au bourg) que des petites villes (sans qu'aucune d'elles ne comprenne plus de 20.000 habitants), avec une forte présence de lotissements, de zones d'activité et de maisons récentes. Nous avons visé une forme carrée pour nos quadrilatères, avec un côté d'environ 30 km. Cependant, pour diverses raisons techniques (liées à la disponibilité des données) et aussi par volonté d'inclure dans nos périmètres des centralités capables d'accueillir une importante population nouvelle, nos prélèvements ne sont pas tout à fait carrés. Nous avons néanmoins retenu cette appellation pour conserver le lien avec l'inspiration originale venue d'Antoine Brès et al.

Le premier territoire d'étude, le « Carré Ouest Lyonnais », concerne une zone périurbaine à l'ouest de l'agglomération de Lyon (cf. Figure 1). Le périmètre retenu comprend 81 communes, pour une population totale de 145.728 habitants en 2013.



**Figure 1 : Le carré Ouest Lyonnais et ses 4 pôles**

Sur ce territoire, les différents documents de planification et d'urbanisme consultés mettent en avant un ensemble de 18 polarités, toutes définies par la présence d'une gare TER. Nous avons restreint ce nombre de pôles à quatre afin de mieux discriminer les configurations entre elles (choix dont on verra plus loin l'importance).

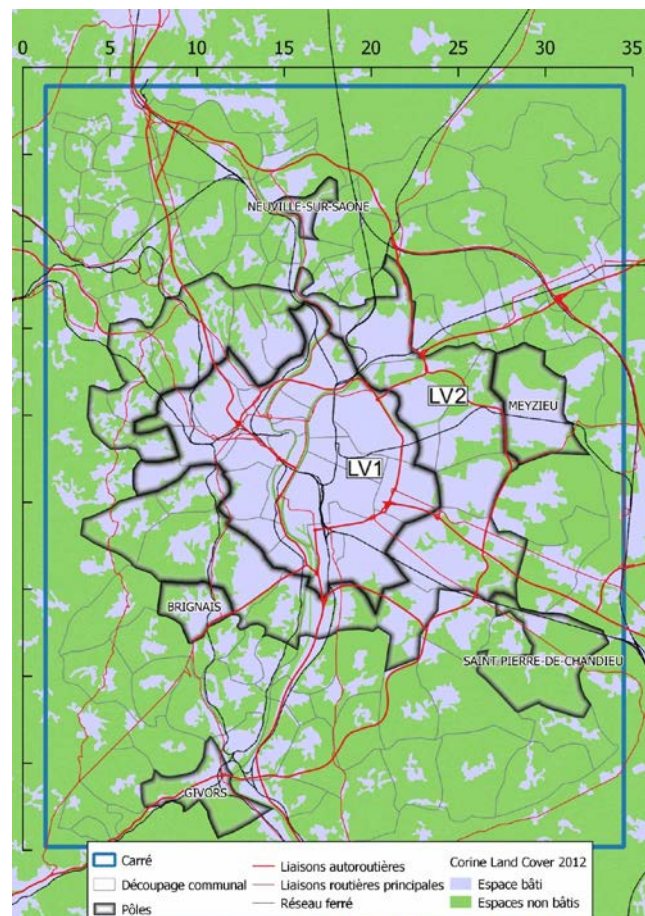
- Tarare à l'ouest : commune importante, polarisante, elle est ville-centre d'une aire urbaine distincte de l'aire urbaine de Lyon.
- L'Arbresle / Eveux : ces deux communes contigües ont une position plutôt centrale dans le carré, situées à la fois sur la N7 et au croisement de plusieurs lignes ferroviaires régionales. L'Arbresle est également identifiée par le SCOT de l'Ouest Lyonnais comme une commune sur laquelle concentrer le développement.
- Anse au nord-est : elle est située au croisement de l'A6 et l'A46, à proximité de Villefranche-sur-Saône (hors carré), ville de 35.000 habitants.
- Saint-Laurent-de-Chamousset au sud : cette commune faiblement peuplée, dépourvue de gare TER, est néanmoins considérée comme un pôle à développer par le SCOT des Monts du Lyonnais.

Le second territoire d'étude concerne la Métropole de Lyon, nommé alors « Carré Métropolitain Lyonnais ». Ce carré comprend 125 communes, y compris les neuf arrondissements de Lyon pour une population totale de 1.518.937 habitants en 2013. L'usage

du sol est bien sûr très différent de celui du carré périurbain de l'ouest lyonnais. La carte en Figure 2 illustre l'étendue de la tâche bâtie, bien au-delà de la ville de Lyon.

Nous avons choisi de délimiter un pôle central, LV1, autour de la commune-centre de Lyon : ce pôle comprend, outre Lyon et Villeurbanne, une première couronne de communes dont les espaces bâtis (au sens de Corine Land Cover<sup>1</sup> 2012) couvrent au moins 75% de la surface de la commune. A cette zone s'ajoute une deuxième couronne de communes environnantes, LV2, puis le reste du carré, Z3, qui comprend toutes les autres communes (cf. Figure 2).

Le SCOT 2030 de l'agglomération lyonnaise prône une organisation multipolaire autour de 22 polarités, ce qui est trop dans le cadre de notre étude. Afin, là encore, de bien discriminer les résultats potentiels pour les configurations de polarités alternatives, nous nous limitons à cinq pôles autres que le pôle central LV1, soit les communes de 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.



**Figure 2 : Le carré Métropolitain Lyonnais : couronnes et pôles**

---

<sup>1</sup> "Corine Land Cover" est une base de données des modes d'occupation du sol à l'échelle européenne avec une résolution de 25 hectares (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>). Sont entendus comme espaces bâtis l'ensemble des territoires artificialisés (catégorie 1) : les espaces urbanisés, industriels, commerciaux, de loisirs, les espaces verts artificialisés, les mines ou encore les chantiers.

Le « Carré Ouest Strasbourgeois » suit la logique du carré « Ouest Lyonnais ». Le périmètre du carré ainsi délimité a un côté d'une trentaine de kilomètres environ et comprend 108 communes pour une population totale de 124.308 habitants en 2013 (cf. Figure 3).

Les quatre pôles définis sont :

- Saverne au Nord-Ouest : commune importante, elle est au centre d'une aire urbaine distincte des aires de Strasbourg et d'Haguenau.
- Molsheim et Mutzig au sud : également sous-préfecture, Molsheim et sa commune contigüe Mutzig représentent la plus grosse concentration de population (environ 16.000 habitants).
- Marlenheim et Wasselonne au centre : ces deux communes contigües représentent une concentration importante au centre du périmètre sans pour autant disposer d'infrastructures ferroviaires.
- Hochfelden et Schwindratzheim au Nord-Est : ces deux communes contigües se situent sur la ligne TER et l'autoroute depuis Strasbourg, mais aussi à proximité d'Haguenau.

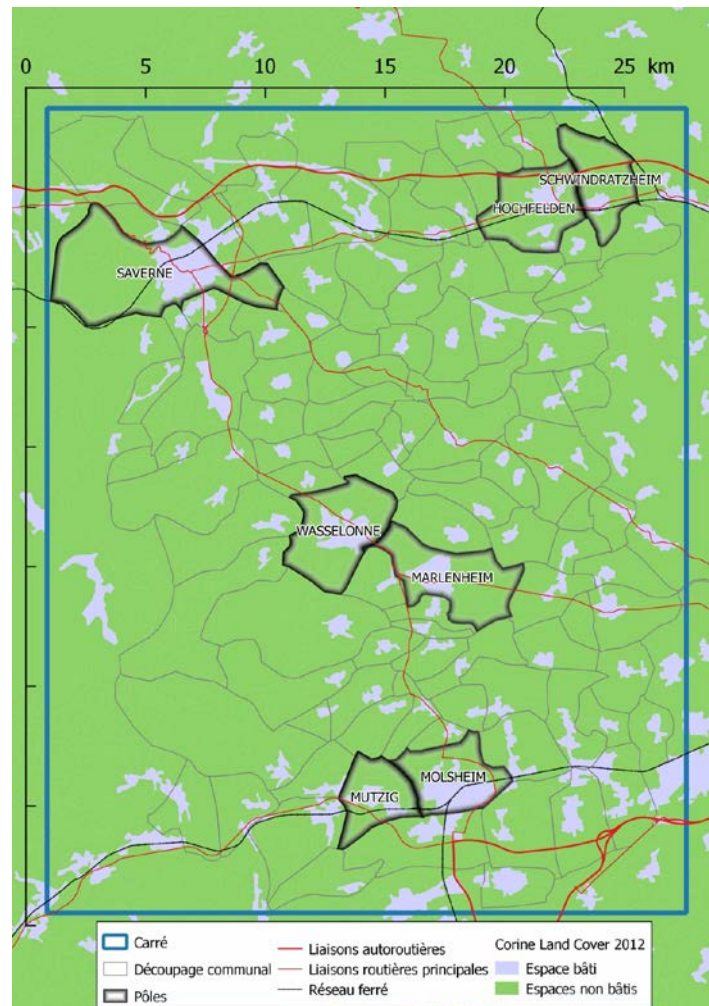


Figure 3 : Le carré Ouest Strasbourgeois et ses 4 pôles

## 2 METHODOLOGIE

Notre démarche d'ensemble consiste à analyser à deux horizons, 2030 et 2050, la mobilité d'une population projetée et domiciliée selon différents scénarios. Pour sa mobilité, cette population utilise des véhicules dont les émissions varient selon des scénarios technologiques, tandis que les parts relatives de ces différents modes de transport varient selon des scénarios de changement aux mêmes horizons.

Nos projections sont basées sur l'hypothèse d'une *mobilité maintenue*, dans ses aspects de nombre de sorties réalisées, de destinations fréquentées et donc de distances parcourues. Notamment, nous supposons que les lieux d'emplois et d'études sont donnés. Seuls changent les technologies et les parts modales des déplacements. La question de l'évolution des distances parcourues, par exemple sous l'influence des coûts de la mobilité ou de la croissance économique, est reportée à d'autres travaux.

Nous présentons tout d'abord les projections démographiques de l'INSEE que nous utilisons pour chacun des trois territoires étudiés (2.1), puis les scénarios de localisation résidentielle de la population nouvelle à l'intérieur de chacun des territoires (2.2). Nous détaillons alors les scénarios d'émission (2.3). Nous présentons ensuite l'élaboration des facteurs de comportements de mobilité (2.4) ainsi que les scénarios de partage modal (2.5). Enfin, nous présentons la méthode de projection de ces comportements (2.6).

### 2.1 Projections démographiques

L'INSEE propose avec le nouveau modèle Omphale (2017) des projections de la population (par âge), des ménages et des actifs jusqu'en 2050, pour les trois territoires d'étude. Le modèle Omphale fait évoluer, à partir d'une date fixée (2013), la pyramide des âges de la population d'un territoire donné (d'au moins 50.000 habitants) à partir de trois composantes qui sont la natalité, la mortalité et les migrations<sup>2</sup>.

Le Tableau 1 ci-après montre les effectifs, dans chacun des trois carrés, de la population, des ménages et des actifs, la répartition par classe d'âge et leur variation prévue d'ici à 2050. Dans la projection de l'INSEE, le carré périurbain lyonnais poursuit sa croissance démographique soutenue (+31%) par rapport au carré métropolitain lyonnais (+21%) tandis que la croissance est plus faible dans le carré périurbain strasbourgeois (+17%). Le nombre d'actifs suit à peu près la tendance de la population dans les deux carrés lyonnais, par contre sa croissance est nettement plus faible dans le carré périurbain strasbourgeois (+7%)<sup>3</sup>. Enfin, on note une accélération du vieillissement de la population dans les deux carrés périurbains (respectivement +76% et +75% pour les plus de 60 ans), reflet du vieillissement « sur place » des populations du baby-boom arrivées dans le périurbain dans les années 1970-80. Cette tendance au vieillissement est encore plus marquée dans le carré périurbain strasbourgeois, comparée à la quasi-stagnation des autres classes d'âge.

---

<sup>2</sup> Cf. « Le modèle de projection démographique Omphale » <https://www.insee.fr/fr/information/3683517>. Nous avons retenu la tendance centrale du scénario démographique d'Omphale.

<sup>3</sup> Cette tendance reflète également le faible dynamisme de la croissance démographique dans l'ensemble du département du Bas-Rhin, la croissance étant encore plus faible pour ce qui est des actifs.



	Carré OL		Carré CM		Carré OS	
	2015	var. 2050 / 2015	2015	var. 2050 / 2015	2015	var. 2050 / 2015
Population	149 175	31%	1 541 170	21%	126 384	17 %
Ménages	59 170	39%	684 826	25%	51 582	27 %
Actifs	72 570	25%	756 686	20%	63 904	7 %
[00-04]	9 318	20%	104 338	15%	7 146	0 %
[05-10]	12 829	19%	116 377	19%	9 246	4 %
[11-14]	8 654	21%	71 035	25%	6 338	5 %
[15-17]	6 363	22%	54 201	22%	4 786	5 %
[18-30]	19 272	20%	317 401	11%	17 002	1 %
[31-45]	29 510	19%	307 326	17%	25 321	2 %
[46-60]	30 946	16%	268 730	12%	28 116	-3 %
[61-99]	32 283	76%	301 762	43%	28 429	75 %

**Tableau 1 : Projections Omphale sur les trois carrés**  
(source INSEE et calculs auteurs)

## 2.2 Scénarios de localisation résidentielle

A l'intérieur de chacun des trois carrés, les localisations résidentielles des populations nouvelles sont réparties selon deux scénarios de configurations spatiales :

- un scénario dit d'« éparpillement ». Compte-tenu des mécanismes à l'œuvre dans les décennies récentes (Charmes, 2011), il s'agit d'un scénario tendanciel où la nouvelle population se localise dans les différentes communes du territoire au prorata de leurs poids démographiques respectifs ;
- un scénario dit de « polarités », qui pousse à l'extrême du politiquement et socialement acceptable l'objectif de concentration résidentielle de la nouvelle population dans les quelques pôles définis plus haut.

Ainsi nous testons, à l'échelle de chaque territoire et à population fixée, l'effet propre de localisations résidentielles différenciées sur les comportements de mobilité. Ces scénarios ont été choisis de manière à faire ressortir les effets des politiques de localisations résidentielles en poussant le curseur au plus loin pour apprécier le potentiel maximal de ces politiques.

Les projections de population selon les scénarios d'éparpillement et de polarité dans les trois carrés sont montrées en Annexe 1. Bien évidemment, les scénarios de polarités dans les deux carrés périurbains aboutissent à des croissances fortes (multiplications par trois) des populations actuelles des communes-pôles.

Pour le carré métropolitain lyonnais, étant donné le poids démographique du pôle central et sa couverture bâtie initiale, les configurations spatiales font l'objet de variantes volontairement contrastées. Deux variantes sont étudiées pour le scénario d'éparpillement : l'une consiste à éparpiller la population nouvelle partout, l'autre à l'éparpiller partout sauf dans le pôle central (LV1). De même, le scénario de polarités fait l'objet de deux variantes : l'une consiste à concentrer la population nouvelle dans le pôle central (LV1), l'autre à la concentrer dans les cinq pôles périphériques. Le scénario de polarité sur LV1 aboutit à une augmentation d'un tiers de la population de ce pôle central, avec les conséquences économiques, sociales et politiques que l'on imagine : forte augmentation du prix de l'immobilier, encombrements accrus, tensions sociales, etc. Le scénario de polarités sur les cinq pôles périphériques aboutit à une multiplication par cinq de la population dans ces pôles.

Les scénarios extrêmes (de polarité) ont donc un côté fictif : ils n'ont pas d'autre but que d'évaluer l'intérêt potentiel de la concentration résidentielle de la population du point de vue des émissions de CO<sub>2</sub>.

### **2.3 Les émissions par passager-km : technologie et coefficients de remplissage des véhicules**

Les scénarios d'évolution technologique consistent à établir les émissions de CO<sub>2</sub> par véhicule-km et par passager-km, d'une part pour la voiture particulière, d'autre part pour les transports collectifs.

*Pour la voiture particulière :*

HBEFA (Handbook Emission Factors for Road Transport, 2017) fournit les facteurs d'émission au véhicule-km projetés jusqu'à 2030 pour différents pays européens, compte tenu du parc roulant et des situations de circulation. Nous utilisons la version agrégée, disponible en ligne par pays. A noter que, pour le CO<sub>2</sub>, il s'agit uniquement des émissions « du réservoir à la roue », l'intégration de l'amont, soit « du puits au réservoir », étant prévue dans une version future.

La valeur retenue pour 2015 pour la voiture particulière en France est de 147 g CO<sub>2</sub> / km. Par ailleurs les projections de HBEFA ne vont pas au-delà de 2030, avec une valeur à cette date de 108 g CO<sub>2</sub> / km pour la France. Nous nous appuyons donc en complément sur les exercices de prospective de l'ADEME (2012). La vision ADEME 2030 selon un scénario « tendanciel volontariste » estime des émissions à 100 g CO<sub>2</sub> / km, un chiffre légèrement inférieur à celui de HBEFA. La vision ADEME 2050 de prospective « normative » (avec l'objectif du Facteur 4) propose une moyenne de 49 g CO<sub>2</sub> / km pour le parc automobile roulant des voitures. *In fine*, nous retenons des chiffres ronds de 100 g CO<sub>2</sub>/v-km en 2030 et 50 g CO<sub>2</sub>/v-km en 2050.

Ces données fournissent les émissions par véhicule et non par passager. Selon le 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 entre 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. Il s'établit à 1,94 pour les déplacements liés à des accompagnements. Tous motifs et toutes distances confondues, ce taux est de 1,47 (par véhicule, non pondéré par la distance). De ce fait, pour les mobilités du quotidien qui nous intéressent ici, nous retenons une valeur de 1,08 pour le domicile-travail, 2 pour les déplacements liés à l'école (scolaires en tant que passager) et 1,5 pour les autres motifs. Ces différentes valeurs de taux d'occupation seront évidemment modifiées dans les scénarios de covoiturage (cf. infra).

Cependant, la question se pose de savoir quelles quantités d'émissions de CO<sub>2</sub> comptabiliser par personne quand on passe d'un mode de transport à l'autre (par exemple quand on quitte la voiture-passager pour les transports collectifs ou le vélo).

Pour les scolaires accompagnés en voiture, comme le taux de remplissage est proche de 2, nous faisons l'hypothèse que le déplacement en question vers le lieu d'études est effectué exclusivement pour l'accompagnement de ce scolaire et que son transfert sur un autre mode

implique l'abandon de ce déplacement du véhicule pour l'accompagnement. Donc l'émission économisée – pour le scolaire en question – 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 de l'un des occupants du véhicule vers un autre mode de déplacement n'implique pas forcément l'abandon du déplacement du véhicule en lui-même : celui-ci peut être conduit par un autre occupant pour se rendre à son travail. Donc l'émission économisée par le transfert de l'un des occupants représente l'émission du véhicule divisée par le taux de remplissage moyen. La même règle s'applique pour les motifs autres que travail et études (taux de remplissage moyen de 1,5).

*Pour les transports collectifs (TC) :*

Nos scénarios nécessitent une valeur moyenne tenant compte des caractéristiques des véhicules de transports collectifs et du taux de remplissage de ceux-ci.

Pour le carré métropolitain lyonnais, l'opérateur du réseau urbain TCL<sup>4</sup> indique 37,6 grammes de CO<sub>2</sub> par passager-km, valeur que nous retenons. Ce réseau opère une part importante de trajets en modes de traction électrique (métro et tramway).

Pour le périurbain, l'estimation d'une valeur moyenne entre les cars et le train TER est nécessaire. En effet, le carré Ouest lyonnais est desservi par des cars du département du Rhône (Cars du Rhône) et par des lignes ferroviaires assurant un service de TER. Or, à notre connaissance, il n'existe pas d'information globale sur le périmètre du département. En effet, l'obligation réglementaire s'adresse aux prestataires de transport (dans ce cas les compagnies de car et la SNCF). Pour un parcours en train TER<sup>5</sup> l'émission est de 30 g CO<sub>2</sub> par passager-km. Pour les autocars TER, le site préconise de retenir le chiffre de 171 g CO<sub>2</sub> par passager-km.

Cependant, 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<sup>6</sup> ferroviaire s'établit à 26 millions de trains-km, l'offre routière à 10 millions de cars-km. En supposant que la répartition des passagers-km suit les mêmes parts<sup>7</sup>, 72% des passagers-km se feraient en train, 28% en car. Ce qui nous donne une estimation arrondie à 69 g CO<sub>2</sub> 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% / 15%), cela nous donne une estimation arrondie à 51 g CO<sub>2</sub> par passager-km, valeur retenue pour le « carré ouest strasbourgeois ».

---

<sup>4</sup> <http://www.tcl.fr/Pages-annexes/TCL-et-l-environnement> (consulté le 26/01/18)

<sup>5</sup> <https://www.ter.sncf.com/auvergne-rhone-alpes/mentions-legales> (consulté le 26/01/18)

<sup>6</sup> Enquête annuelle sur les transports collectifs régionaux - DGITM, CGDD, Cerema – Régions de France - GART – UTP - FNTV, année 2014

<sup>7</sup> En l'absence de données sur l'occupation des véhicules, nous ne voyons pas de meilleure hypothèse quant à la répartition des passagers kilomètres. Cela introduit à l'évidence une incertitude non négligeable sur les calculs d'émission pour les transports collectifs.

Pour ce qui concerne les projections à 2030 et 2050 pour les TC, selon HBEFA le taux d'émission de CO<sub>2</sub> des cars comme des bus urbains augmente légèrement entre 2015 et 2030<sup>8</sup>. 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).

## 2.4 Elaboration des facteurs de comportement de mobilité

L'analyse des comportements de mobilité est fondée sur les enquêtes ménages-déplacements (EMD de Lyon, 2015 et Strasbourg, 2009) 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 EMD car ces dernières ont un taux de sondage insuffisant dès que l'on souhaite faire des analyses spatiales plus fines. En revanche, les données MOBPRO recensent des lieux déclarés de travail (et un mode « principal » de transport), mais pas les comportements de mobilité quotidienne et le détail des déplacements comme dans les EMD.

Par ailleurs, l'analyse des mobilités implique de définir l'unité statistique d'analyse. Il s'agit non pas des déplacements mais des « boucles » (ou « sorties »), définies comme la suite de déplacements effectués depuis le départ du domicile jusqu'au retour au domicile : cela vise à éviter la variabilité du nombre de déplacements liée aux arrêts intermédiaires, et plus généralement à l'organisation des déplacements à court terme, pour s'appuyer sur les points d'ancrage que sont le domicile, les motifs ou les lieux obligés comme le travail ou le lieu d'études, la nécessité de sortir pour les achats, etc. A chaque boucle est affecté un motif principal, un mode principal et une distance selon une procédure décrite en Annexe 2.

Les comportements de mobilité sont déterminés d'une part par la situation sociodémographique de l'individu qui se déplace et le motif principal de la boucle, d'autre part par le contexte spatial de ses déplacements (par exemple zone dense vs zone peu dense).

En combinant la situation sociodémographique de l'individu et le motif de la boucle, nous constituons trois catégories principales, l'une d'entre elles étant subdivisée en trois sous-catégories :

- Les « actifs occupés » (ceux qui déclarent occuper un emploi) pour aller au travail : leur mobilité au quotidien est contrainte par la nécessité de se rendre à un lieu de travail, en général sans possibilité de choix de ce lieu à court terme, ce qui implique une certaine distance à parcourir ; 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) pour se rendre à leur lieu d'études ; à l'intérieur de cette catégorie nous distinguons :
  - o Les « primaires » (repérés par leur âge, soit de 5 à 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.
  - o Les « collégiens » (de 11 à 14 ans) qui utilisent 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.

---

<sup>8</sup> Cette évolution résulte de la priorité donnée à la réduction des émissions de polluants nocifs (normes EURO sur les véhicules lourds) qui oblige les constructeurs à mettre en place des systèmes de dépollution et des filtres à particules, lesquels ont pour effet d'augmenter la consommation de carburant (et donc les émissions de CO<sub>2</sub>).

- Les « lycéens » (de 15 à 17 ans), dans une situation similaire, mais avec une mobilité pour aller au lycée à plus grande distance que pour les collégiens.
- La population totale pour les motifs autres que le travail ou les études : ces activités sont moins contraintes dans leurs horaires ou durées ainsi que leurs lieux de réalisation ; cela étant, elles peuvent être régies par certaines obligations, comme celles d'assurer l'entretien du foyer (achats, soins aux enfants, etc.) ou d'autres liées à la santé ou encore aux formalités administratives ; toutefois leur caractère plus irrégulier dans le temps et dans l'espace les rend moins prévisibles.

La validité de cette catégorisation est confirmée *a posteriori* par l'analyse des mobilités sur les trois carrés<sup>9</sup>.

Concernant le contexte spatial des déplacements, la distinction repose sur l'opposition de nos configurations spatiales entre « éparpillement » et « polarités ». L'analyse des mobilités sur les carrés<sup>10</sup> montre que le partage modal et les distances parcourues diffèrent selon que l'individu réside au sein d'un des pôles du carré ou en-dehors des pôles.

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  $dboucle_{ijkm}$

## 2.5 Scénarios de partage modal

Les scénarios de partage modal incluent le covoiturage, les transports collectifs et le vélo. Le principe est de calculer, pour chacun des trois modes et pour chaque catégorie, un potentiel maximal de transfert modal dans l'absolu (décliné ci-après selon les cas étudiés). Ce potentiel maximal sert ensuite à cadrer un scénario « volontariste haut » (objectif le plus haut envisageable compte tenu des freins socio-économiques ou psychologiques) et un scénario « volontariste bas » (objectif raisonnablement envisageable compte tenu des mêmes freins).

Le caractère « envisageable » ou « raisonnable » des objectifs de transfert modal implique une part d'arbitraire comme nous le verrons pour chacun des cas étudiés. Les objectifs « volontariste haut » et « volontariste bas » de report modal sont fixés « à dire d'expert » grâce à la connaissance qu'ont les auteurs de cet article 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, font que le scénario volontariste bas correspond plutôt à l'horizon 2030 et le volontariste haut à l'horizon 2050.

---

<sup>9</sup> détails disponibles auprès des auteurs

<sup>10</sup> idem

Le covoiturage dans sa forme récurrente (quasi-quotidienne) et dans les zones (péri)urbaines est une pratique marginale peu repérable et peu repérée par les dispositifs classiques d'observation en France (enquêtes ménages déplacements). S'il se développe et si son potentiel semble significatif (Huré et al. 2016), il peine toutefois à décoller (ADEME, 2015). Cette dernière étude montre que les rares expériences n'ont duré que peu de temps et jouent uniquement sur l'incitation monétaire (c'est-à-dire un partage des frais, avec des enjeux limités au vu des faibles distances parcourues). L'autre incitation, celle du gain de temps au moyen de voies d'accès réservées au covoiturage, en est à ses premiers balbutiements en France et devrait faire l'objet de premières expérimentations prochainement dans quelques grandes agglomérations.

Le covoiturage organisé a une histoire plus longue à l'étranger, essentiellement aux Etats-Unis depuis les années 70 bien qu'il soit en déclin continu depuis (AASHTO 2013). Les expériences américaines du covoiturage ont permis de bien documenter ses avantages, les conditions d'efficacité de son fonctionnement et les verrous scientifiques et techniques qui restent encore à lever (Chan et Shaheen, 2012 ; Furuhashi et al, 2013 ; Neoh et al, 2017). Il convient tout d'abord de surmonter d'éventuelles barrières psycho-sociales de la part de l'automobiliste-propriétaire, réticent a priori à partager son véhicule avec des personnes qui lui sont inconnues. A cela s'ajoutent les contraintes organisationnelles sur les emplois du temps qui limitent les possibilités d'appariement entre covoitureurs. Enfin, cette littérature pointe la question des politiques publiques les mieux à même de faire croître les faibles pourcentages de participants à des programmes de covoiturage observés aujourd'hui dans différents pays.

En l'absence d'éléments plus précis permettant de modéliser les mécanismes de basculement sur le covoiturage nous développons une démarche de simulation empirique en partant des taux d'occupation des véhicules observés aujourd'hui (cf. supra).

Nous considérons *a priori* que les scénarios de covoiturage n'ont de potentiel d'économie de véhicules-km que pour les boucles des actifs liées au travail, étant donné les distances parcourues 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-km parcourus pour les collégiens et les lycéens est traitée en priorité par un transfert potentiel sur les transports collectifs ou le vélo. 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 (distance moyenne parcourue de 8 km) : 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 VAE) concernent *a priori*, comme argumenté plus bas, 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, dans les carrés périurbains, ces boucles restent très largement internes à ces carrés, et l'offre TC n'y est pas pertinente. Dans le carré métropolitain, la part des TC pour ces autres motifs s'élève à 12% ce qui n'est pas négligeable, mais attendu dans ce carré. Le potentiel maximum de transfert pourrait y être assez élevé. Néanmoins les coûts de développement de l'offre qui en

découleraient – nécessaire étant donné la saturation actuelle du réseau –, sont également très élevés (comme nous le discutons par la suite), ce qui nous amène à écarter *a priori* l'exercice de simulation sur ces motifs non obligés dans le carré métropolitain.

Ces scénarios sont récapitulés dans le Tableau 2.

Catégories de boucles	Technologie 2030 et 2050	Covoiturage	Vélo-VAE	TC
Actifs vers Travail	x	x	x	x
Scolaires vers Lieu d'études	(voiture-passager et TC)			
- Primaires	x	n.a.	x	n.a.
- Collégiens	x	n.a.	x	x
- Lycéens	x	n.a.	x	x
Tous / autres motifs	x	n.a.	x	n.a.

*x = scénario appliqué ; n.a. = non appliqué*

**Tableau 2 : Scénarios de mobilité appliqués par catégorie de boucles**

### 2.5.1 Scénarios de covoiturage

Pour calculer le potentiel du covoiturage à partir des données des navettes domicile-travail, une source a été privilégiée, à savoir MobPro 2013 « fichier détail : Mobilités professionnelles »<sup>11</sup>. On ne s'intéresse ici qu'aux navetteurs résidant dans chacun des carrés étudiés et dont la distance à vol d'oiseau entre le lieu de résidence et le lieu de travail est inférieure à 80 km. Dans la réponse à la question « Mode de transport principal le plus souvent utilisé pour aller travailler », nous retenons la modalité « 4 : Voiture, camion, fourgonnette » (les autres modalités sont « 1 : Pas de transport », « 2 : Marche à pied », « 3 : Deux roues » et « 5 : Transports en commun »). Enfin, seules sont prises en compte les navettes extra-communales (i.e. uniquement les actifs qui changent de commune pour aller travailler).

Pour chacun des trois territoires, le potentiel maximum d'appariement a été calculé à partir des origines-destinations (OD) communes entre navetteurs. Par OD communes, nous entendons des navetteurs qui partent de la même commune de résidence et se rendent dans la même commune de travail (pour Lyon, il s'agit des arrondissements). On obtient ainsi une distribution des pourcentages d'OD et de kilomètres parcourus (aller et retour) en fonction de la taille des groupes de navetteurs appariables.

Ce potentiel d'appariement suppose d'une part au plan géographique des trajets de ramasse et de dépose plus ou moins longs selon la taille des communes concernées, d'autre part au plan temporel des compromis éventuels sur les heures de départ communes. Le potentiel maximal de réduction des véhicules-km parcourus s'obtient en supposant que 100% des navetteurs appariables au plan géographique passent au covoiturage et que les arrangements sont au maximum de 4 occupants par voiture.

Comme les appariements géographiques et temporels effectivement réalisés ne permettront évidemment pas d'atteindre ce maximum, et que des barrières d'ordre psychologique comme accepter de partager son véhicule ou de devenir passager peuvent également réduire ce potentiel, deux hypothèses sont nécessaires :

<sup>11</sup> MOBPRO 2013 version disponible en mai 2017, mise en ligne le 30/06/16.  
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2022109>

- l'une sur le pourcentage de personnes potentiellement concernées qui passent effectivement au covoiturage, c'est-à-dire qui surmontent les difficultés organisationnelles et les autres barrières (par exemple de 50% à 80% des covoitureurs potentiels passent au covoiturage) ;
- l'autre sur les arrangements effectifs, à savoir le nombre de personnes par voiture en covoiturage. Ce dernier varie selon la taille des groupes appariables ; il est fixé ici à 2 quand les groupes appariables par OD commune sont de cinq personnes et plus, à 3 pour les groupes de 10 personnes et plus, avec un maximum de 4 au-delà, pour des raisons de confort dans un véhicule léger.

Sur la base de ces hypothèses plus ou moins volontaristes sur les changements de comportements et sur les arrangements intra-véhicules (de 2 à 4 personnes par véhicule), des scénarios de covoiturage bas (à l'horizon 2030) et haut (à l'horizon 2050) sont proposés pour chacun des trois territoires<sup>12</sup>. Le Tableau 3 résume ces scénarios dans les trois carrés.

	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 3 : Scénarios de covoiturage domicile-travail dans les trois carrés**

Le potentiel maximum de réduction des véhicules-kilomètres parcourus pour les trajets domicile-travail aller et retour atteint 50% du kilométrage actuel dans le carré métropolitain lyonnais, tandis que les scénarios bas et haut vont de 20% à 40% de réduction. Par contre, ce potentiel de réduction est plus réduit (30%) dans le carré périurbain ouest lyonnais, du fait de l'éclatement des origines et des destinations, avec des réductions allant de 10% à 20% selon les scénarios bas et haut. Le potentiel de réduction se situe à un niveau intermédiaire (40%) dans le carré ouest strasbourgeois, avec des réductions allant de 12% à 30% selon les scénarios bas et haut.

### 2.5.2 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). Notons que l'agglomération française avec la part modale la plus élevée est celle de Strasbourg avec 8% tandis que la moyenne française est de 2% (ENTD). Pourtant, des agglomérations européennes, parfois de taille similaire à celle de Lyon, atteignent des scores très élevés (source EPOMM<sup>13</sup>), avec en Allemagne, 13% à Berlin, 25% à Karlsruhe, 14% à Munich (mais 5% seulement à Stuttgart), et, plus au nord, 22% à Amsterdam, ou encore 30% à Copenhague. Ces chiffres sont bien sûr des ordres de grandeur, non strictement comparables car dépendants à chaque fois de l'aire d'enquête (notamment de

<sup>12</sup> Détails disponibles auprès des auteurs

<sup>13</sup> <http://www.epomm.eu/tems/> consulté le 06/02/18



la part relative des zones denses et peu denses). Mais les niveaux élevés atteints dans certaines agglomérations européennes montrent qu'il existe une marge d'amélioration non seulement pour les grandes villes françaises, mais aussi pour les petites villes et les couronnes périurbaines (Huré, Meillerand, et al. 2016). Les scores atteints en Europe du Nord montrent, en outre, que les conditions climatiques ne sont pas vraiment un obstacle. Enfin, les différences importantes entre les villes allemandes soulignent le rôle crucial des politiques locales.

L'augmentation significative de l'usage du vélo pour la mobilité au quotidien en France ne semble donc pas un objectif inaccessible. Ceci étant, dès que l'on quitte les espaces urbains denses où la circulation automobile est 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 du VAE. Son rayon d'action potentiel<sup>14</sup> (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 dense et périphérie. Sur la base d'un échantillon de 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. Pour le calcul des distances dans les enquêtes ménages-déplacements, Gallez (2000) préconise un coefficient de 1,35 tandis que le CERTU (2009) indique un coefficient implicite de 1,25 dans le cas de l'EMD de Toulouse 1996. Nous retenons donc un coefficient moyen de 1,25. Le maximum de 20 km en distance effective sur voirie devient donc un maximum 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. Ce seuil est donc retenu par la suite pour estimer la part maximale des boucles transférables sur le vélo ou VAE. En outre, avec un tel seuil la recharge quotidienne ne sera pas nécessaire en dehors du domicile. Enfin, les émissions de CO<sub>2</sub> (« du réservoir à la roue ») sont nulles<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> Voir la gamme par exemple à <https://www.velo-electrique-attitude.com/7-velo-electrique-ville> consulté le 06/02/18

<sup>15</sup> La consommation électrique (recharge de la batterie) est de l'ordre de 0,07 kWh/km (calculs à partir de <http://energiepourdemain.fr/la-consommation-dun-velo-electrique/> consulté le 06/02/18). Les émissions de l'électricité pour le transport étant fixées à 48 g CO<sub>2</sub>-eq / kWh en France (cf. MTEs 2017), l'émission totale (« du puits à la roue ») liée à l'usage du VAE est estimée à environ 3 g CO<sub>2</sub>-e / km.

Le VAE étant légalement considéré comme un vélo du fait de sa vitesse réglementairement 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.

Le Tableau 4 présente, dans les trois carrés, les scénarios de parts modales pour le vélo-VAE appliqués aux boucles pour le travail (source MOBPRO), pour les études ainsi que les autres motifs (sources EMD). La part modale initiale est proche de zéro, y compris pour le carré périurbain strasbourgeois où elle se situe à moins de 1%.

	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 4 : Scénarios de parts modales vélo-VAE dans les trois carrés**

Plus de 40% des boucles liées au travail dans le carré métropolitain lyonnais se situent sous le seuil de 16km (aller-retour à vol d'oiseau) et donc sont susceptibles d'être effectuées en vélo (avec l'option assistance électrique). Ce potentiel maximum se situe aux environs de 30 % dans les carrés périurbains.

### 2.5.3 Scénarios d'offre de transports collectifs

Pour estimer le potentiel maximal de part de marché des transports en commun dans les boucles effectuées par les résidents dans chacun des trois carrés, nous avons mobilisé en premier lieu les EMD réalisées à Lyon et Strasbourg. Celles-ci montrent 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) pour se rendre à leur lieu d'études.

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. Côté demande, les EMD offrent peu de données d'observation dans les carrés périurbains (par

exemple 717 actifs enquêtés sur l'ensemble du carré OL dans l'EMD 2015). Par ailleurs, la base MOBPRO est limitée pour ce qui est des caractéristiques socioéconomiques des individus et ne donne pas la fréquence des déplacements réalisées par les actifs, ni les heures auxquelles ils se déplacent, contrairement aux EMD. Côté offre, si nous avons pu disposer des fiches horaires pour les TER, ces données sont difficiles d'accès 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, toutes le pourraient ». Concrètement, cela consiste à identifier les couples origine-destination (communes ou arrondissements) réalisables en transport en commun, car effectués au moins une fois par un individu avec ce mode. La nouvelle part modale est alors calculée en considérant que tous les actifs réalisant leur navette en voiture particulière sur ces couples origine-destination basculent sur les transports collectifs. Ceci donne un potentiel maximum, qui permet d'estimer des scénarios bas et haut de transfert modal.

Concernant les actifs, 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. Nous retenons la modalité « 5 : Transports en commun » dans la réponse à la question « Mode de transport principal le plus souvent utilisé pour aller travailler ». 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, l'usage des TC par les actifs est très faible pour les boucles internes au carré, plus élevé pour les boucles qui vont à l'extérieur de celui-ci. Ceci s'explique par le fait que le réseau de lignes de cars et de lignes ferroviaires converge vers le réseau lourd des transports collectifs urbains de l'agglomération dont dépendent les carrés (Lyon ou Strasbourg). Cela explique les fortes différences de potentiels de transfert modal calculés entre les carrés périurbains et le carré métropolitain.

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 font 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, et dans ce cas il semble plus réaliste d'œuvrer au remplissage des voitures. Pour les collégiens et les lycéens, nous appliquons une méthode d'imitation analogue à celle mise en œuvre pour les actifs.

Le Tableau 5 présente 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 ce, 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 5 : Scénarios de parts modales TC dans les trois carrés**

## 2.6 Méthode de projection des comportements de mobilité

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

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

Dans le carré métropolitain lyonnais (CM), à la différence des carrés périurbains, la distinction se fait non pas entre pôles et hors pôles mais entre quatre zones de résidence (pôle LV1, couronne LV2, 5 pôles, reste Z3).

## 3 RESULTATS

Un premier résultat concerne l'effet propre de l'urbanisation, ici la localisation résidentielle de la nouvelle population. Le Tableau 6, ci-après, montre les variations d'émissions de CO<sub>2</sub> du seul fait des différents scénarios de localisation résidentielle de la population nouvelle et

d'évolution démographique structurelle de la population actuelle (tel que projetée dans les scénarios Omphale).

	var. Population 2050	Eparpillement	var. CO <sub>2</sub>	Polarité maximale	var. CO <sub>2</sub>
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 Strasbourgeois	+17%		+11%	Dans les pôles	+9%

**Tableau 6 : Effets propres de la localisation résidentielle de la population nouvelle prévue en 2050 dans les trois carrés (à comportement constants)**

Pour le carré métropolitain lyonnais, les deux variantes d'éparpillement de la population nouvelle (+ 21%) que nous avons testées aboutissent à des augmentations d'émissions de CO<sub>2</sub> de 20%, si cette population est éparpillée de manière homogène au prorata des populations communales (ou d'arrondissements) actuelles, ou de 31% si cette population est éparpillée partout sauf dans le cœur de l'agglomération (qui regroupe Lyon-Villeurbanne et la première couronne). Les deux variantes de polarisation de la population nouvelle que nous avons testées aboutissent à des augmentations respectives d'émissions de CO<sub>2</sub> de 14% si cette population nouvelle est logée exclusivement dans le cœur de l'agglomération, et de 31% si cette population nouvelle est logée exclusivement dans les cinq pôles périphériques. Nous pouvons en déduire un potentiel maximal de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 17% du fait de la localisation résidentielle, par différence entre l'effet d'une accélération de l'étalement urbain (Eparpillement partout sauf sur LV1, soit +31%) et l'effet d'une polarisation maximale (dans LV1, soit +14%).

Pour les deux carrés périurbains, lyonnais et strasbourgeois, avec des augmentations respectives de population de 31% et 17%, l'éparpillement produit une augmentation moins forte (respectivement +27% et +11%). Il s'agit là principalement de l'effet du vieillissement de ces populations avec baisse de la part relative des populations actives, qui se déplacent en général sur de plus longues distances. Les scénarios de concentration de la population nouvelle dans les pôles périurbains montrent des effets assez limités par rapport à cette tendance démographique profonde puisque les émissions de CO<sub>2</sub> varient respectivement de +23% et +9%. Par différence entre l'effet d'une prolongation de l'étalement urbain (Eparpillement partout) et l'effet d'une polarisation maximale nous pouvons déduire un potentiel maximal de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, du fait de la localisation résidentielle, de 4% pour le carré Ouest Lyonnais et de 2% pour le carré Ouest Strasbourgeois.

Pour ce qui est des scénarios technologiques et de partage modal pour la mobilité quotidienne, le tableau ci-dessous (cf. Tableau 7) présente les effets d'une application séparée de ces mesures à population constante (localisation résidentielle et structure démographique de 2015). Nous ajoutons dans ce tableau, à titre de comparaison, l'effet précédent de scénarios de localisation résidentielle (polarité maximale vs éparpillement).

Leviers imputés indépendamment	En 2030 (volontariste bas)			En 2050 (volontariste haut)		
	CM	OL	OS	CM	OL	OS
Emissions CO <sub>2</sub> 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%
Localisation résidentielle (polarité vs éparpillement)				-17%	-4%	-2%

**Tableau 7 : Effets séparés sur les émissions de CO<sub>2</sub> des différents leviers technologiques et comportementaux dans les trois carrés**

Une grande partie du chemin vers les objectifs de la SNBC peut être effectuée grâce à l'évolution technique des moteurs qui permet des réductions des émissions de CO<sub>2</sub> de la mobilité quotidienne de l'ordre de 30% en 2030 et 60% en 2050. Cependant, si les objectifs fixés par la SNBC pour 2030 peuvent être atteints, ce n'est pas le cas de ceux fixés pour 2050 (-70%).

Ces objectifs ne peuvent être atteints que si sont également mises en œuvre des politiques volontaristes sur les comportements de mobilité, en accompagnement de l'évolution anticipée de la technologie. Pour tester cela, nous avons retenu les configurations de localisation résidentielle de la population nouvelle les plus défavorables en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>. Celles-ci correspondent à une politique de laisser-faire pour les choix de développement résidentiel, soit un éparpillement au-delà de LV1 dans le cas du carré métropolitain lyonnais et un éparpillement simple dans le cas des deux carrés périurbains. Il ne s'agit pas ici de prendre parti pour ce laisser-faire, mais d'évaluer le potentiel des politiques de mobilité dans le contexte le plus défavorable.

Les résultats des simulations du potentiel de changement à partir de ces actions combinées sur les trois carrés sont indiqués dans le Tableau 8. Sans surprise, nous observons qu'en 2030, l'objectif de la SNBC (-30%) est atteint grâce à l'évolution technologique des véhicules et même au-delà si l'on ajoute l'effet du covoiturage, du transfert modal vers les transports collectifs et de la hausse de la part du vélo-VAE. En revanche, en 2050, le scénario haut combinant le covoiturage et le transfert modal vers les transports collectifs dans le carré métropolitain lyonnais est insuffisant du point de vue de l'objectif fixé par la SNBC. Pour atteindre ce dernier, dans ce territoire, il faut associer le développement du covoiturage et la hausse de la part du vélo-VAE à l'évolution technologique. Sur les deux territoires périurbains, cette même combinaison permet également d'atteindre l'objectif fixé par la SNBC pour 2050.

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

**Tableau 8 : Effets combinés des différents effets technologiques et comportementaux dans les trois carrés**

#### 4 DISCUSSION ET CONCLUSION

Précisons tout d'abord que les résultats présentés ici s'appuient sur un critère principal, celui des émissions de CO<sub>2</sub>, en lien avec les objectifs de la 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 probablement donné d'autres résultats, dont certains plus favorables à la polarisation de l'urbanisation. En outre, des critères d'ordre économique comme les dépenses privées et publiques dans les transports doivent être pris en considération, notamment pour ce qui est du scénario de développement des transports collectifs (cf. infra).

Il apparaît à travers nos diverses simulations que les différentes variantes de localisation de la population nouvelle prévue d'ici à 2050 ne représentent que peu d'enjeux, du moins du point de vue du critère carbone, même si elles sont poussées aux limites du politiquement et socialement acceptables. Les coûts sociaux et politiques d'une localisation résidentielle « dirigée » de la population nouvelle modèrent d'autant plus l'intérêt d'une telle mesure.

Cependant, dans le cas particulier des deux carrés périurbains, la concentration de la population dans les pôles a un impact certain sur 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. En outre, on peut conjecturer qu'un effort soutenu en faveur de la polarisation de l'urbanisation résidentielle dans le périurbain produirait des effets plus marqués à long terme (au-delà de 2050).

Plus généralement, les politiques de localisation que nous avons simulées ont des impacts que nous n'avons pas discutés, y compris sur le plan environnemental. Selon que l'urbanisation est polarisée sur quelques pôles ou éparpillée dans des dizaines de villages périurbains, les effets sont très différents sur entre autres la biodiversité ou l'agriculture (pour une discussion voir : Charmes, 2019).

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 de localisation. Les scénarios d'offre de transport et de changements de comportements de mobilité que nous avons étudiés par la suite seraient très probablement favorisés, tant économiquement que politiquement, 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.

Par ailleurs, il faut souligner une incertitude dans le cadre de notre postulat de mobilité maintenue, à savoir celle concernant l'évolution des distances parcourues en automobile. Même si ces dernières ont eu tendance à diminuer dans un passé récent (Grimal et al, 2013 ; Hubert et al, 2016), un rebond 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.

Enfin, nos résultats sont-ils généralisables ? Nous avons analysé trois territoires assez contrastés, une zone urbaine dense dans une métropole millionnaire, un territoire périurbain dépendant de celle-ci et un territoire périurbain dépendant d'une autre agglomération importante mais au dynamisme différent. Cette diversité menant à des conclusions communes est un argument permettant de conforter la généralité de ces dernières, dans le cas des aires urbaines françaises de métropole hors région parisienne. Cette dernière est en effet très particulière par sa taille et le fonctionnement de ses échanges, ce qui fait que les distances parcourues et les partages entre modes sont très différents. La mise en œuvre de notre approche sur la région parisienne, répliquable sans difficulté majeure, devrait permettre de confirmer ou infirmer nos conclusions dans le cas particulier de cette région.

Concernant le développement d'offres de mobilité alternatives à la voiture solo, la question de la faisabilité financière (notamment du point de vue des finances publiques) se pose également. L'estimation des coûts (public et privé) des différents scénarios demanderait des calculs assez fins selon les territoires concernés ou des valeurs à élaborer dans le cas de nouvelles 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-km en coût global pour les transports urbains de province (dont 72 cts de dépense publique – collectivités, versement-transport et emprunts, le reste, soit 17 cts, étant la part des usagers) ; 2,3 cts d'euro de dépense publique pour la route par voyageur-km dans les aires urbaines de province auxquels s'ajoutent les 20 cts par véhicule-km représentant la part des usagers. 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. Le coût d'acquisition d'un « bon » VAE (de l'ordre de 2000 € aujourd'hui) n'est pas négligeable mais on peut tabler sur une baisse de ce coût à l'avenir avec leur généralisation. Le coût de fonctionnement pour les finances publiques serait bien moindre que celui des transports collectifs. On peut donc présumer que le coût global au cycliste-km serait également sans commune mesure avec l'équivalent au passager-km pour les transports collectifs. En outre, plus le vélo se développera, plus la dépense publique relative en termes d'infrastructures baissera (si on la considère en voyageur-km) grâce aux économies d'échelles réalisées.



Concernant le covoiturage, la composante essentielle du coût global serait privée, supportée 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-km 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, pour la mobilité du quotidien, 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.

## REMERCIEMENTS

Cette recherche a été partiellement financée par l'ADEME dans le cadre du projet PERITHEL (Convention de financement 1417C0036, programme ModevalUrba).

## REFERENCES

- AASHTO (2013) **Commuting in America 2013**. The National Report on Commuting Patterns and Trends. Brief 10. Commuting Mode Choice. 32 p.
- ADEME (2012) **Contributions de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050**. Synthèse, 29 p.
- ADEME (2015) **Etude nationale sur le covoiturage de courte distance**. Leviers d'actions, benchmark et exploitation de l'enquête nationale Transports et déplacements (ENTD) – Etude réalisée par INDIGGO et EnvirOconsult. 233 pages.
- Brès, A. (2015) **Figures discrètes de l'urbain**. Metis Presses.
- 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
- Brownstone, D., Golob, T.F. (2009) The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption. **Journal of Urban Economics** 65, 91–98.
- CERTU, 2009. **Calcul a posteriori des distances dans les enquêtes ménages déplacements**. Certu, 2009.
- 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.
- Chalas, Y. (2000) **L'invention de la ville**. Anthropos, Economica, Paris, 199 p.
- Chan, N. D., Shaheen, S. A. (2012) Ridesharing in North America: Past, Present, and Future. **Transport Reviews**, Vol. 32, No. 1, 93–112, January 2012
- Charmes E. (2011) **La ville émiétée. Essai sur la clubbisation de la vie urbaine**, Presses Universitaires de France, Paris, 288 p.
- Charmes E. (2019) **La revanche des villages. Essai sur la France périurbaine**. Paris, Seuil.
- Echenique, M.H., A.J. Heargraves, G. Mitchell, A. Namdeo (2012) Growing cities sustainably, **Journal of American Planning Association**, 78.2, 121-137
- Ewing, R. (1997) Is Los-Angeles-style sprawl desirable? **Journal of the American Planning Association** 63, 107–126.

- Fouchier, V. (1998) **Les densités urbaines et le développement durable : le cas de l'Ile-de-France et des villes nouvelles**. La Documentation Française, 212 p.
- Fouchier, V. (2010) L'intensification urbaine. In La densification en débat. **Études Foncières**, n°145, mai-juin 2010, pp. 35-36.
- Furuhata, M., Dessouky, M., Ordóñez, F., Brunet, M.-E., Wang, X., Koenig, S. (2013) Ridesharing: The state-of-the-art and future directions. **Transportation Research Part B** 57 (2013) 28–46
- Gallez, C. (2000) **Systèmes d'indicateurs pour l'évaluation de scénarios d'évolution de la mobilité urbaine** - Méthode de calcul des distances (redressement des distances à vol d'oiseau) utilisée pour l'Enquête Globale Transport d'Ile-de-France. Rapport de convention DTT - INRETS, 2000.
- Glaeser, E.L., Kahn, M.E. (2010) The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. **Journal of Urban Economics** 67, 404–418.
- Gordon, P., Richardson, H.W., 1997. Are Compact Cities a Desirable Planning Goal? **Journal of the American Planning Association** 63, 95–106.
- Grimal, R., Collet, R., Madre J.-L. (2013) Is the Stagnation of Individual Car Travel a General Phenomenon in France? A Time-Series Analysis by Zone of Residence and Standard of Living. **Transport Reviews**, 33:3, 291-309, DOI: 10.1080/01441647.2013.801930
- HBEFA (2017) **Handbook Emission Factors for Road Transport** [en ligne]. INFRAS [consulté le 26/01/18, version 3.3 d'avril 2017]. <http://www.hbefa.net/e/index.html>
- 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
- Hubert, J.-P., Pistre P., Madre J.-L. (2016) L'utilisation de l'automobile par les ménages dans les territoires peu denses : analyse croisée par les enquêtes sur la mobilité et le Recensement de la population. **Economie et Statistique** n°483-484-485, pp. 179-203
- Huré, M., Meillerand, M.C., Charmes E., Hirtzel, J., 2016, **Formes urbaines, mobilités et politiques publiques : Quelles politiques pour les territoires périurbains ?**, rapport intermédiaire, recherche PERITHEL, ADEME.
- MEDDE (2017) **Stratégie Nationale Bas Carbone. Résumé pour décideurs**. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>
- MTES, 2017. **Information GES des prestations de transport. Guide méthodologique**. Novembre 2017.
- Munafò, S. (2017) Forme urbaine et mobilités de loisirs : l'« effet barbecue » sur le grill, **Cybergeo**, article 832, [en ligne].
- Neoh, J. G., Chipulu, M., Marshall, A. (2017) What encourages people to carpool? An evaluation of factors with meta-analysis. **Transportation**, 44(2), 423-447.
- Orfeuil, J.-P. (2011) Le vrai coût des transports de la vie quotidienne, **Infrastructure et mobilité**, n° 111. p. 11-17.
- Wiel, M. (1999) **La transition urbaine. Le passage de la ville pédestre à la ville motorisée**. Mardaga. 149 p.
- Wiel, M. (2010) **Étalement urbain et mobilité**, La Documentation française, Paris, 86 p.

## ANNEXES

### Annexe 1

2015	Les 4 pôles	Hors pôles	Total
Population	26 123	123 051	149 174
Actifs	12 060	60 337	72 397
[05-10]	2 247	10 582	12 829
[11-14]	1 515	7 139	8 654
[15-17]	1 114	5 249	6 363
Eparpillement 2050			
Population	34 175	160 975	195 150
Actifs	15 123	75 657	90 780
[05-10]	2 678	12 613	15 291
[11-14]	1 836	8 647	10 483
[15-17]	1 362	6 416	7 778
2050-2015			
Population	31%	31%	31%
Actifs	25%	25%	25%
[05-10]	19%	19%	19%
[11-14]	21%	21%	21%
[15-17]	22%	22%	22%
Polarités 2050			
Population	72 099	123 051	195 150
Actifs	30 443	60 337	90 780
[05-10]	4 709	10 582	15 291
[11-14]	3 344	7 139	10 483
[15-17]	2 529	5 249	7 778
2050-2015			
Population	176%	0%	31%
Actifs	152%	0%	25%
[05-10]	110%	0%	19%
[11-14]	121%	0%	21%
[15-17]	127%	0%	22%

**Tableau 9 : Projections de population en 2050 dans le carré OL selon les configurations spatiales**

2015	LV1	LV2	5 pôles	Reste Z3	Total
Population	950 338	287 512	75 386	227 939	1 541 174
Actifs	474 933	132 547	34 000	113 128	754 608
[05-10]	71 762	21 711	5 693	17 212	116 377
[11-14]	43 802	13 252	3 475	10 506	71 035
[15-17]	33 422	10 111	2 651	8 016	54 201
Eparpillement 2050					
Population	1 146 591	346 885	90 953	275 011	1 859 440
Actifs	569 468	158 931	40 768	135 646	904 814
[05-10]	85 713	25 931	6 799	20 558	139 002
[11-14]	54 920	16 615	4 357	13 173	89 065
[15-17]	40 634	12 293	3 223	9 746	65 896
2050-2015					
Population	21%	21%	21%	21%	21%
Actifs	20%	20%	20%	20%	20%
[05-10]	19%	19%	19%	19%	19%
[11-14]	25%	25%	25%	25%	25%
[15-17]	22%	22%	22%	22%	22%
Eparpillement 2050		sauf LV1			
Population	950 338	442 386	115 993	350 723	1 859 440
Actifs	474 933	203 734	52 261	173 886	904 814
[05-10]	71 762	32 720	8 579	25 941	139 002
[11-14]	43 802	22 026	5 775	17 462	89 065
[15-17]	33 422	15 802	4 143	12 528	65 896
2050-2015					
Population	0%	54%	54%	54%	21%
Actifs	0%	54%	54%	54%	20%
[05-10]	0%	51%	51%	51%	19%
[11-14]	0%	66%	66%	66%	25%
[15-17]	0%	56%	56%	56%	22%
Polarités 2050		sur LV1			
Population	1 268 603	287 512	75 386	227 939	1 859 440
Actifs	625 138	132 547	34 000	113 128	904 814
[05-10]	94 387	21 711	5 693	17 212	139 002
[11-14]	61 832	13 252	3 475	10 506	89 065
[15-17]	45 117	10 111	2 651	8 016	65 896
2050-2015					
Population	33%	0%	0%	0%	21%
Actifs	32%	0%	0%	0%	20%
[05-10]	32%	0%	0%	0%	19%
[11-14]	41%	0%	0%	0%	25%
[15-17]	35%	0%	0%	0%	22%
Polarités 2050		sur LV2			
Population	950 338	605 777	75 386	227 939	1 859 440
Actifs	474 933	282 753	34 000	113 128	904 814
[05-10]	71 762	44 336	5 693	17 212	139 002
[11-14]	43 802	31 282	3 475	10 506	89 065
[15-17]	33 422	21 806	2 651	8 016	65 896
2050-2015					
Population	0%	111%	0%	0%	21%
Actifs	0%	113%	0%	0%	20%
[05-10]	0%	104%	0%	0%	19%
[11-14]	0%	136%	0%	0%	25%
[15-17]	0%	116%	0%	0%	22%
Polarités 2050		sur les 5 pôles			
Population	950 338	287 512	393 651	227 939	1 859 440
Actifs	474 933	132 547	184 206	113 128	904 814
[05-10]	71 762	21 711	28 318	17 212	139 002
[11-14]	43 802	13 252	21 505	10 506	89 065
[15-17]	33 422	10 111	14 346	8 016	65 896
2050-2015					
Population	0%	0%	422%	0%	21%
Actifs	0%	0%	442%	0%	20%
[05-10]	0%	0%	397%	0%	19%
[11-14]	0%	0%	519%	0%	25%
[15-17]	0%	0%	441%	0%	22%

**Tableau 10 : Projections de population en 2050 dans le carré Métropolitain Lyonnais selon les configurations spatiales**

2015	Les 4 pôles	Hors pôles	Total
Population	42 110	84 271	126 381
Actifs	20 613	43 136	63 749
[05-10]	3 081	6 165	9 246
[11-14]	2 112	4 226	6 338
[15-17]	1 595	3 191	4 786
Eparpillement 2050			
Population	49 449	98 958	148 406
Actifs	22 074	46 192	68 266
[05-10]	3 203	6 411	9 614
[11-14]	2 208	4 418	6 626
[15-17]	1 668	3 338	5 006
2050-2015			
Population	17 %	17 %	17 %
Actifs	7 %	7 %	7 %
[05-10]	4 %	4 %	4 %
[11-14]	5 %	5 %	5 %
[15-17]	5 %	5 %	5 %
Polarités 2050			
Population	64 135	84 271	148 406
Actifs	25 130	43 136	68 266
[05-10]	3 449	6 165	9 614
[11-14]	2 400	4 226	6 626
[15-17]	1 815	3 191	5 006
2050-2015			
Population	52 %	0 %	17 %
Actifs	22 %	0 %	7 %
[05-10]	12 %	0 %	4 %
[11-14]	14 %	0 %	5 %
[15-17]	14 %	0 %	5 %

**Tableau 11 : Projections de population en 2050 dans le carré OS selon les configurations spatiales**

## Annexe 2

A chaque boucle est affecté un motif principal selon la hiérarchie suivante dans le cas où différents motifs sont présents dans la même boucle :

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

A ce motif principal est associée 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 une boucle ayant pour motif principal le travail).

Au sein d'un même déplacement différents modes de transport peuvent être utilisés. Par convention nous ne considérons pas la marche à pied quand elle est pratiquée pour accéder à un véhicule motorisé, aux transports collectifs ou à la voiture particulière. La marche à pied

est désignée comme mode principal lorsqu'elle est pratiquée de manière exclusive pour le déplacement. On désigne un mode motorisé ou mécanisé comme mode principal de déplacement, quand il est utilisé à l'exclusion des autres au cours du même déplacement (voiture comme passager, voiture comme conducteur, transports collectifs, deux-roues à moteur, vélo). Les combinaisons voiture-passager + transports collectifs ou voiture-conducteur + transports collectifs sont identifiées comme telles. Les autres combinaisons, très marginales (exemple, vélo + transports collectifs), sont désignées comme « autres ».

Enfin, quand on passe au niveau de la boucle, succession de plusieurs déplacements, un mode principal est attribué à la boucle en appliquant la hiérarchie suivante si différents modes sont présents :

Voiture-passager+Transports collectifs > Voiture-conducteur+Transports collectifs > Voiture-passager > Voiture-conducteur > Transports collectifs > Deux-roues à moteur > Vélo > Autre > Marche à pied.

Par cette hiérarchisation nous accordons de l'importance aux modes motorisés et particulièrement aux transports collectifs, afin de focaliser la réflexion prospective sur l'évolution de la part modale de ces derniers. Dans cette perspective, les combinaisons Voiture-passager + Transports collectifs et Voiture-conducteur + Transports collectifs sont in fine assimilées aux Transports collectifs.

Pour les déplacements extra-communaux (c'est-à-dire avec un changement de commune) les distances sont calculées à vol d'oiseau à partir des centroïdes des communes de départ et d'arrivée. Les coordonnées des centroïdes sont issues de la source GéoFla (2.2 de 2016 pour l'EMD de Lyon 2015, 1.1 de 2011 pour l'EMD de Strasbourg 2009). Pour les déplacements intra-communaux, comme les lieux exacts de départ et d'arrivée ne sont pas connus, nous estimons une distance moyenne égale à la moitié de la racine de la surface de la commune. Comme les analyses portent sur des variations relatives, les erreurs commises en valeur absolue sur ces approximations de distance sont supposées sans conséquences.