

Relégation périurbaine et exposition à la congestion : une approche par les indicateurs de congestion territorialisés appliquée à l'agglomération bordelaise

Ghislaine Deymier et Frédéric Gaschet

Volume 43, numéro 2, 2020

Accès au logement et à la mobilité

Soumis : 10 septembre 2019

Accepté : 9 décembre 2019

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1083294ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1083294ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Canadian Regional Science Association / Association canadienne des sciences régionales

ISSN

0705-4580 (imprimé)

1925-2218 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Deymier, G. & Gaschet, F. (2020). Relégation périurbaine et exposition à la congestion : une approche par les indicateurs de congestion territorialisés appliquée à l'agglomération bordelaise. *Canadian Journal of Regional Science / Revue canadienne des sciences régionales*, 43(2), 60–77.
<https://doi.org/10.7202/1083294ar>

Résumé de l'article

Cet article a pour objet de construire un ensemble d'indicateurs permettant d'identifier les points critiques de congestion et d'analyser le temps perdu par les automobilistes afin d'identifier les impacts différenciés de la congestion sur les territoires urbains et périurbains de la métropole bordelaise. Afin de mieux comprendre les effets combinés de l'accroissement des prix fonciers et immobiliers et de la congestion urbaine sur le niveau de vulnérabilité des ménages et des territoires, ce papier propose de développer une approche spatiale de l'impact de la congestion urbaine sur les choix de mobilité et de localisation des ménages. Après avoir justifié l'intérêt d'une telle démarche et précisé les facteurs théoriques commandant l'impact local de la congestion, l'article présente la méthode de construction d'indicateurs territoriaux de congestion urbaine puis propose une estimation des impacts territoriaux de la congestion sur les différents territoires de l'agglomération bordelaise à partir d'une typologie territoriale intégrant les différents facteurs théoriques d'exposition à la congestion.

CANADIAN JOURNAL
OF REGIONAL SCIENCE

REVUE CANADIENNE DES
SCIENCES RÉGIONALES



RELÉGATION PÉRIURBAINE ET EXPOSITION À LA CONGESTION : UNE APPROCHE PAR LES INDICATEURS DE CONGESTION TERRITORIALISÉS APPLIQUÉE À L'AGGLOMÉRATION BORDELAISE

Ghislaine Deymier, Frédéric Gaschet

Ghislaine DEYMIER

Maître de conférence en Aménagement de l'Espace et Urbanisme
UMR 5319 Passages, Maison des Suds, 12 Espl. des Antilles,
33600 Pessac, Université Bordeaux Montaigne
ghislaine.deymier@u-bordeaux-montaigne.fr

Frédéric GASCHET

Maître de Conférences en Economie
UMR 5213 GREThA, 6 Avenue Léon Duguit,
33600 Pessac, Université de Bordeaux
gaschet@u-bordeaux.fr

Soumis : 10 septembre 2019

Accepté : 9 décembre 2019

Résumé/Abstract : Cet article a pour objet de construire un ensemble d'indicateurs permettant d'identifier les points critiques de congestion et d'analyser le temps perdu par les automobilistes afin d'identifier les impacts différenciés de la congestion sur les territoires urbains et périurbains de la métropole bordelaise. Afin de mieux comprendre les effets combinés de l'accroissement des prix fonciers et immobiliers et de la congestion urbaine sur le niveau de vulnérabilité des ménages et des territoires, ce papier propose de développer une approche spatiale de l'impact de la congestion urbaine sur les choix de mobilité et de localisation des ménages. Après avoir justifié l'intérêt d'une telle démarche et précisé les facteurs théoriques commandant l'impact local de la congestion, l'article présente la méthode de construction d'indicateurs territoriaux de congestion urbaine puis propose une estimation des impacts territoriaux de la congestion sur les différents territoires de l'agglomération bordelaise à partir d'une typologie territoriale intégrant les différents facteurs théoriques d'exposition à la congestion.

The purpose of this article is to build a set of indicators to identify the critical points of congestion and to analyze the lost time by motorists in order to identify the differentiated impacts of congestion on the urban and peri-urban metropolitan area of the Bordeaux. In order to better understand the combined effects of the rise in property and land prices and urban congestion on the level of vulnerability of households and territories, this paper proposes to develop a spatial approach of urban congestion impact on household mobility and location choices. After having justified the interest of such an approach and clarified the theoretical factors controlling the local impact of congestion, the article presents the method of construction of territorial indicators of urban congestion. Then, it proposes an estimate of the territorial impacts of congestion on the different territories of Bordeaux Metropolitan area from a territorial typology integrating the various theoretical factors of exposure to congestion.

Mots clés : Vulnérabilité des ménages et des territoires, prix du logement, congestion urbaine

Keywords : Households and territories vulnerability, housing price, urban congestion

JEL : C1, R10, R20, R31, R38, R41

INTRODUCTION

La congestion urbaine était considérée, il n'y a pas si longtemps, comme révélatrice du dynamisme des métropoles. Le trafic routier traduisait, finalement, l'attractivité des villes sur le plan économique.

Aujourd'hui, dans le contexte du changement climatique, mis en évidence par les derniers rapports du GIEC (2018, 2019) et les récentes analyses françaises (CNRS, CEA, Météo-France, 2019) qui projettent, dans le pire des scénarios possibles, une augmentation des températures de sept degrés à l'horizon 2100, les villes des pays industrialisés sont mises au pied du mur. Elles sont contraintes de réfléchir à des solutions efficaces de réduction drastique de l'usage de l'automobile.

En 2050, d'après les estimations de la Banque Mondiale, la population des zones urbaines devrait représenter deux tiers de la population mondiale. Comme le soulignait déjà John Wilmoth, (ONU) en 2015, l'enjeu central devient celui d'une planification du développement urbain pour améliorer la performance économique et la qualité de vie des villes tout en réduisant les émissions de GES. La croissance urbaine de ces dernières décennies est caractérisée par une expansion non planifiée et non structurée engendrant une augmentation notable des distances moyennes de déplacement (+13 % entre 1990 et 2017 en France; Citepa, 2018) et de la circulation automobile (+39% depuis 1990 en France; Citepa, 2018) qui, malgré une amélioration constante de la performance environnementale des véhicules, ne semble pas, pour autant, pouvoir compenser l'accroissement des kilomètres parcourus et ses effets induits sur la croissance exponentielle des GES. Ainsi, il semble difficile aujourd'hui de parvenir à une baisse drastique des émissions à court terme, c'est-à-dire, d'après le GIEC (2018) de l'ordre d'une diminution de 50% des GES pour maintenir un réchauffement à 1,5°C à l'horizon 2030, sans une rupture forte en matière d'énergie, de transport, d'usage du sol ou des bâtiments.

Le secteur du transport apparaît, dans les stratégies urbaines contemporaines, comme un levier primordial pour lutter contre le changement climatique. Des solutions sont mises en œuvre afin de favoriser le report modal comme le développement d'infrastructures de transport collectif efficaces, l'évolution de la gouvernance des autorités organisatrices de la mobilité afin de faciliter l'intermodalité entre les transports urbains et interurbains (création de syndicats mixtes par exemple), l'aménagement des espaces dédiés aux vélos, la gratuité des transports, le télétravail ou encore les mobilités servicielles.

Les restrictions de circulations telles que les péages urbains préconisés en expérimentation dans la loi Grenelle (2010) mais rejetés par loi LOM (2019) ou le stationnement peuvent, également, contribuer à infléchir les changements de comportement.

Enfin, le signal-prix pourrait inciter les ménages à consommer moins de pétrole. Toutefois, comme l'ont montré les événements de l'automne 2018 en France, cette solution semble encore loin d'être acceptée par la société. D'une part, parce que le poids des dépenses en transport des ménages (14,4% en moyenne de leur budget) ne cesse d'augmenter, entraînant ainsi une hausse du coût individuel de la voiture devenue, désormais, irréversible. D'autre part, une hausse du coût du carburant ne peut pas être imputée à l'ensemble de la population sans distinction de revenus dans un contexte d'inégalités croissantes entre les ménages. En effet, le poids des dépenses énergétiques représente 15% en moyenne du revenu des ménages pour les 20% les plus pauvres et 6% pour les 20% les plus riches. Ainsi, comme le préconise Jean Gadrey (Alternatives Économiques, 2018), pour être efficace, « le signal-prix doit s'intégrer à des politiques plus systémiques des transports, de la mobilité et de l'utilisation de l'espace ».

L'urbanisme doit, également, jouer un rôle important en générant de nouveaux rapports à la ville afin de réduire la mobilité subie par les individus. Jean-Pierre Orfeuil proposait, par exemple, dans « La ville cohérente » (2010) de rapprocher les activités, l'habitat et les infrastructures afin de réduire la portée des déplacements quotidiens ou bien de réguler les vitesses en passant du « plus vite moins cher » au « moins vite, plus près » (Crozet, 2017).

Les métropoles amorcent, d'ailleurs, un tournant en tentant d'améliorer les conditions de circulation, soit par un élargissement des voies permettant une fluidification du trafic ou par une gestion toujours plus pointue du trafic, soit par une approche plus globale de la mobilité qui conduit à une moindre utilisation de la voiture pour les déplacements quotidiens. Ainsi, par exemple, dans le cas de la métropole bordelaise qui sert de terrain d'application dans cet article, les acteurs locaux des politiques de transport jouent sur les deux tableaux. La collectivité élargit les voies de circulations périphériques tout en optimisant son système de gestion du trafic. L'autorité organisatrice de la mobilité améliore, également, son système de transport urbain en créant de nouvelles lignes de bus et de tramway, mettant à disposition des vélos, des scooters en libre-service, accompagnant le covoiturage, aménageant les espaces à destination des modes doux, tarifant le stationnement, etc. afin de mailler de manière efficace le système de transport métropolitain dans son ensemble.

Les stratégies de report modal mises en œuvre par les grandes agglomérations depuis plusieurs décennies ont certes permis une réduction de la part modale de l'automobile dans les espaces centraux mais peinent à offrir des alternatives crédibles de transport dans les territoires suburbains et surtout périurbains, ne parvenant pas de ce fait à enrayer la progression de la congestion. La congestion urbaine a ainsi augmenté de manière notable sur la métropole bordelaise entre 2009 et 2013 en dépit des investissements de la collectivité en matière de transport public et représente une perte de temps de déplacement globale conséquente. Le réseau de transport est devenu saturé par endroits et ne parvient plus à absorber le trafic automobile. Surtout, les principaux pics de congestion se produisent essentiellement sur la rocade périphérique et par conséquent impactent principalement les ménages résidant à plus de 15 km du centre-ville et effectuant des déplacements centripètes vers leur lieu de travail. Les problèmes couplés de dépendance automobile et d'exposition à la congestion des infrastructures semblent ainsi se concentrer dans ces espaces.

L'impact de ces évolutions, en matière de mobilité périurbaine, est d'autant plus problématique qu'il se combine, dans beaucoup de métropoles françaises et mondiales, à un fort accroissement des prix de l'immobilier qui réduit de manière très significative l'accès au logement pour de nombreux ménages. Les classes moyennes et modestes sont, ainsi, largement amenées à s'éloigner des centres urbains pour se loger et en particulier pour accéder à la propriété. Ce phénomène de relégation entraîne des effets négatifs sur les mobilités des ménages concernés: allongement des distances et des temps de trajet et, par conséquent, augmentation des coûts induits par la mobilité quotidienne d'autant que les territoires périurbains et éloignés des centres impliquent une plus grande dépendance automobile (Dupuy, 2011). Les ménages se trouvent ainsi confrontés à une vulnérabilité accrue face aux coûts du logement et de la mobilité (Verry, 2009; Saujot, 2012; Nicolas et al. 2012). Cette vulnérabilité se définit au regard d'une part du risque d'isolement social – limitation de l'accès aux aménités et diminution possible des déplacements de loisirs ou de visite – et d'autre part du risque de pauvreté directement liés aux coûts cumulés de logement et de déplacement.

L'évaluation des effets combinés et cumulatifs des conditions de mobilité et d'accès au logement dans les espaces péri-urbains des grandes métropoles constitue ainsi un enjeu central pour apprécier la durabilité à la fois sociale et environnementale de ces formes de développement urbain.

Cet article s'inscrit donc dans le débat ville compacte *versus* ville diffuse institué depuis les années 1990 autour des interactions entre l'évolution du système de transport et la dynamique des marchés fonciers qui, depuis l'avènement de l'automobile, poussent à l'étalement urbain, à l'allongement des distances quotidiennes parcourues par personne et, par conséquent, à la dépendance automobile et à la croissance des émissions polluantes et des consommations d'énergie.

Toutefois, cette contribution renouvelle le débat dans la mesure où elle interroge l'échelle spatiale de ces interactions et leurs effets au niveau de différents types de territoires urbains, sortant ainsi de l'approche classique du modèle monocentrique qui demeure la référence incontournable pour éclairer les dynamiques et leurs enjeux. De plus, au-delà de la référence classique à la dépendance automobile, l'article se focalise sur les effets localisés de la congestion routière et son impact sur les mobilités au sein des différents territoires.

Il intègre, en outre, pleinement la dimension sociale de ces interactions, alors que le débat compact/diffus reste trop fortement centré sur les impacts environnementaux des dynamiques urbaines. Enfin, sur un plan méthodologique cette contribution propose des indicateurs originaux croisant la mesure de la congestion et une typologie des territoires urbains assise sur les caractéristiques socioéconomiques de leurs habitants.

L'analyse s'attache, ainsi, à construire un ensemble d'indicateurs permettant d'identifier les points critiques de congestion et d'analyser le temps perdu par les automobilistes afin d'identifier les impacts différenciés de la congestion sur les territoires urbains et périurbains de la métropole bordelaise. Afin de mieux comprendre les effets combinés de l'accroissement des prix fonciers et immobiliers et de la congestion urbaine sur le niveau de vulnérabilité des ménages et des territoires, cet article développe une approche territorialisée de l'impact de la congestion urbaine intégrant les caractéristiques socio-économiques des populations et des différents territoires. Après avoir justifié l'intérêt d'une telle démarche et précisé les facteurs théoriques commandant l'impact local de la congestion (1) l'article présente la méthode de construction d'indicateurs territoriaux de congestion urbaine (2) puis propose une estimation des impacts de la congestion sur les différents territoires de l'agglomération bordelaise à partir d'une typologie territoriale intégrant les différents facteurs théoriques d'exposition à la congestion (3).

L'APPROCHE THÉORIQUE DES IMPACTS TERRITORIAUX DE LA CONGESTION

1.1 La notion de congestion

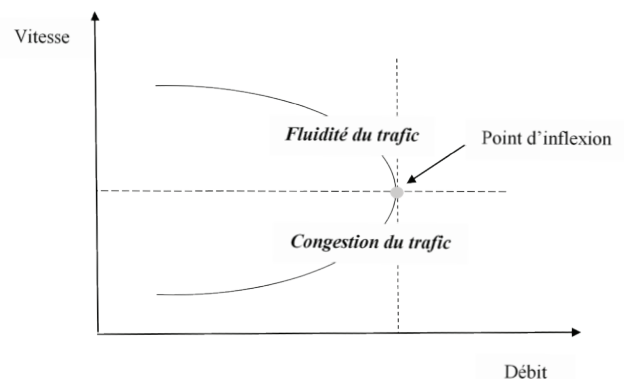
La congestion est un phénomène subjectif. Il n'existe pas de véritable consensus permettant de s'accorder sur une définition claire et précise de cette notion. Elle repose, toutefois, sur trois principaux critères : le temps, la vitesse et la distance. On peut parler de congestion du trafic lorsque le nombre de véhicules empruntant une infrastructure de transport devient supérieur à la capacité de cette voie. Dans les années 60 et quasiment jusqu'au début des années 2000, la préoccupation majeure relevait de la bonne gestion des vitesses de circulation. Il fallait fluidifier le trafic. Toute situation où la vitesse était inférieure à la vitesse critique était considérée comme congestionnée. Afin de remédier à cela, de nouvelles routes ont été construites ou élargies pour maintenir une constance des budgets-temps de transport au sens de Zahavi (1980). En effet, les individus, dans leurs

déplacements quotidiens intègrent un temps de déplacement qui ne doit pas excéder un certain seuil d'une heure en moyenne au niveau mondial avec des variations selon que les aires urbaines sont de types intensives ou extensives (Joly, 2011). Cependant, lorsque la collectivité décide d'élargir un tronçon de voie rapide, comme cela est le cas pour la rocade Ouest bordelaise, il s'opère un phénomène de triple convergence du trafic (Downs, 2004 cité par Lesteven (2014)). Il apparaît, ainsi, une convergence spatiale lorsque de nouveaux automobilistes décident d'utiliser le tronçon afin de gagner du temps dans leurs déplacements. La convergence est également temporelle, la fluidité du trafic permettant d'emprunter ce réseau aux heures de pointe, et modale, par effet d'apprentissage; certains utilisateurs des transports en commun décident, en effet, de changer de mode au profit de l'automobile en raison du gain significatif en temps et en accessibilité que leur procure cette infrastructure dans la gestion de leurs déplacements quotidiens. Ainsi, ce phénomène de triple convergence peut générer à long terme une redistribution des déplacements qui va se traduire par une demande induite pour l'infrastructure et accroître, de ce fait, la congestion. Toute offre de voirie supplémentaire entraîne une demande au moins égale à la capacité nouvellement offerte (Dupuy, 1976). Par conséquent, les problèmes de congestion ne peuvent généralement pas être résolus par la mise en place de nouvelles infrastructures.

Il semblerait que les effets négatifs de la congestion ne suffisent pas à contrebalancer les effets positifs du système automobile. En outre, l'amélioration du système de transport en commun aurait très peu d'effets significatifs sur le niveau de congestion automobile (Mogridge, 1990). Toutefois, la littérature préconise le maintien d'un niveau de service en transport en commun efficient afin de stabiliser le trafic routier. Une dégradation, même infime, du réseau de transport en commun peut contribuer à générer un accroissement du trafic automobile avec des conséquences très fortes lorsque la circulation est déjà saturée ou presque saturée.

La congestion peut s'analyser selon deux approches. Du point de vue de l'ingénierie, la congestion se définit en fonction des caractéristiques de la route, en mesurant le temps perdu dans les encombrements. Le temps nécessaire pour réaliser un trajet donné ou la vitesse nécessaire pour réaliser ce parcours dépend de l'importance du trafic routier. Il existe donc une relation entre le débit, c'est-à-dire le nombre de véhicules passant pendant une période de temps donnée en un point et la vitesse moyenne des véhicules présents à un instant sur une route donnée qui se traduit par la figure 1 ci-dessous. Lorsque le débit est faible, la vitesse est élevée. Il arrive un point où l'augmentation du nombre de véhicules sur la voie tend à faire diminuer la vitesse puis lorsque le débit excède la capacité de la voie un seuil critique est atteint qui conduit à diminuer la vitesse et le débit de manière concomitante jusqu'à saturation du réseau.

Figure 1. Courbe débit- vitesse



La congestion, en diminuant les vitesses tend à augmenter les temps de parcours et par là-même les budgets-temps de transport. Cette variabilité des temps de parcours génère de l'insatisfaction auprès des usagers de la route. D'après Lesteven (2014), les usagers accordent à la fiabilité des temps de parcours et donc à leur prévisibilité une valeur plus élevée qu'au temps lui-même. Ce qui les intéresse, ce n'est pas tant de connaître le temps moyen ou la vitesse moyenne d'un trajet mais plutôt les variations de temps. C'est pourquoi, le calcul d'un indicateur de congestion tel que le coefficient de variation, c'est-à-dire le rapport entre l'écart-type et la moyenne, révèle toute son importance pour l'automobiliste qui sera d'autant plus sensible à la variabilité du temps de parcours qu'à sa durée.

Ainsi, il pourra anticiper et adapter son programme d'activité (changer de mode, d'horaire de travail, etc.) ou bien son schéma de déplacement afin d'arriver à l'heure sur son lieu d'activité.

L'approche de la congestion par l'économie s'apparente à la notion d'externalité négative ou de nuisance; l'utilité que procure l'utilisation d'un réseau de transport routier pour un automobiliste est affectée par la consommation de ce même bien par un autre usager de la route. La congestion est alors définie comme le coût que la société doit payer (le coût social) en raison d'une surutilisation de la voirie (Derycke, 1997). L'automobiliste qui s'insère sur un réseau déjà encombré contribue à diminuer la vitesse de déplacement des autres automobilistes et contribue ainsi au coût marginal social de congestion.

Toutefois, le temps mesuré et chiffré ne correspond pas toujours au temps perdu tel qu'il est perçu et vécu par les automobilistes et la société. De fait, beaucoup de personnes continuent à prendre leur voiture dans des situations de congestion récurrente. Les effets négatifs de la congestion ne suffisent pas à contrebalancer les effets positifs du système automobile car les individus développent des stratégies d'adaptation à la congestion qui assurent la pérennité de l'usage de la voiture, malgré les contraintes exercées par les politiques publiques sur l'offre viaire et la demande automobile.

Plusieurs leviers permettent de contrecarrer la congestion : le laisser-faire en considérant que la congestion rationnera naturellement la demande; l'amélioration du réseau mais au risque de générer à terme du trafic induit; la réduction de la demande automobile en contraignant son usage (péage urbain, stationnement payant, etc.) ou en proposant des alternatives modales.

Un autre registre d'actions s'attache à penser la mobilité en interaction avec l'occupation des sols et les morphologies urbaines pour rendre la ville plus cohérente (Orfeuill, 2012), par exemple en préconisant la création de nouveaux centres d'emploi plus périphériques et plus proches des habitants. Ces approches cherchent à relier le niveau de congestion à certaines caractéristiques des formes urbaines.

1.2 Congestion et formes urbaines

Les travaux académiques ont depuis plusieurs décennies cherché à relier le niveau de congestion des systèmes de transport urbains à deux caractéristiques clefs des formes urbaines : le niveau de compacité et le degré de décentralisation des emplois.

La compacité des formes urbaines est considérée comme un déterminant majeur du degré de congestion urbaine, les fortes densités étant supposées réduire les distances de déplacement tout en favorisant le report modal et en limitant en conséquence la dépendance automobile (Ewing, 1997). Le sujet reste néanmoins fortement débattu, depuis la controverse nouée en 1997 dans le *Journal of the American Planning Association*. Gordon et Richardson (1997) défendent dans cette contribution classique l'idée que l'étalement urbain a constitué le principal mécanisme d'ajustement à la congestion urbaine, en déplaçant la demande automobile vers des zones dont les réseaux de transport sont moins soumis à congestion et plus adaptables à l'évolution de la demande. La contribution de Le-

vinson et Kumar (1997) portant sur l'impact de la densité sur divers indicateurs mesurant les caractéristiques des trajets domicile-travail confirme d'ailleurs cette ambiguïté : si la densité a des effets significatifs sur les distances moyennes de déplacements, en revanche, elle n'en a pas sur la durée de ces derniers, l'ajustement se faisant par une réduction de la vitesse moyenne de déplacements. Les ménages suburbains utilisent les vitesses plus importantes offertes en périphérie par les infrastructures routières pour augmenter leurs distances de déplacements tout en maintenant stable la durée de ces derniers. Kahn (2007) montre ainsi sur un échantillon de villes américaines que les ménages vivant dans des villes étalées ont des déplacements plus longs de 1,8 miles mais plus courts de 4,8 minutes en moyenne, du fait de vitesses de déplacements plus élevées. Ces travaux ont toutefois le défaut d'utiliser systématiquement les durées de déplacement comme une approximation de la congestion.

Ewing et al. (2002) ont développé un indice d'étalement urbain permettant de tester de manière plus robuste le lien étalement-congestion. Après contrôle des effets de taille de caractéristiques sociodémographiques ils n'identifient aucun impact significatif de l'étalement ni sur les durées de déplacements ni sur le niveau de congestion directement mesuré. Ce résultat est confirmé à partir d'un modèle structurel permettant d'intégrer l'ensemble des effets indirects de l'usage du sol sur la congestion (Ewing et al. 2018).

Face à cette indétermination, la littérature a intégré un deuxième facteur structurant, le degré de décentralisation des emplois. Les effets positifs attendus de l'étalement urbain sur les temps de déplacement des ménages périurbains dépendent par exemple du degré de dispersion des générateurs de déplacement. En cas de centralisation forte de ces derniers dans les cœurs d'agglomération, les déplacements des ménages périurbains, fortement marqués par une géographie centripète, exposent à des coûts de congestion importants aux abords de la ville « agglomérée ». Gordon et Lee (2013) montrent ainsi que l'étalement urbain, lorsqu'il est combiné à une forte dispersion des emplois, est source de réduction des temps de déplacement des ménages suburbains, même si les distances de déplacement sont plus importantes. Crane et Chatman (2003) concluent également à un effet négatif de la suburbanisation des emplois sur les durées de déplacement.

La formation de centres secondaires d'emplois apparaît en particulier comme un moyen de limiter le niveau de congestion subi dans les déplacements domicile-travail. Sur la base d'un modèle de simulation avec prise en compte des comportements de déplacements domicile-travail et des phénomènes de congestion, White (1990) montre que l'augmentation du nombre de sous-centres urbains est susceptible de réduire de 15% à 50% le volume total de ces déplacements. Le modèle de Anas et Kim (1996) prédit également que le degré de polycentrisme des villes augmente en réaction au niveau de congestion urbaine.

L'impact des structures polycentriques sur les distances/temps de trajets intraurbains et le niveau de congestion est toutefois ambigu. Ewing et al. (2018) montrent ainsi que le niveau de congestion est positivement affecté par deux facteurs : le nombre de km par véhicule et la concentration spatiale des couples origines-destinations des déplacements. La concentration des emplois au sein du centre principal et des centres secondaires d'emplois a ainsi un impact positif sur la congestion au niveau local en densifiant les couples origines-destinations, mais peut avoir un effet négatif sur les distances parcourues et donc sur la congestion à plus large échelle.

Les études empiriques tentant de lier polycentrisme et niveau global de congestion sont d'ailleurs peu concluantes. Si certaines études identifient un impact négatif du polycentrisme sur les distances et temps de déplacement (Modarres, 2011; Sune et al., 2016) d'autres recherches, plus nombreuses, montrent que le développement de

structures polycentriques ne réduit pas nécessairement les distances ou temps de trajet (Giuliano & Small 1993; Cervero & Wu 1997; Schawen et al., 2003; Veneri, 2010).

En dépit des progrès dans la mesure des formes urbaines et le développement de mesures directes de la congestion, les travaux cherchant à relier à l'échelle des aires urbaines les morphologies au niveau de congestion restent ainsi peu concluants.

1.3 L'impact spatial de la congestion au sein des villes

À l'inverse du lien entre formes urbaines et congestion, peu de contributions ont cherché à identifier l'impact local de la congestion sur les différents sous-espaces d'une aire urbaine.

Le modèle monocentrique canonique utilisé en économie urbaine depuis les années 60 prédit que dans une ville monocentrique (où les emplois sont localisés et concentrés dans la partie centrale de l'agglomération) la congestion doit décroître rapidement à mesure que l'on s'éloigne du centre. En raison de la structure centripète du réseau de transport innervant ce type de structure urbaine, c'est dans les parties centrales que les vitesses de circulation sont les plus affectées par la densité du trafic (Anas, Arnott & Small, 2000). Une extension naturelle de ce modèle consiste à supposer que la congestion est particulièrement importante autour des principaux pôles générateurs de déplacements urbains au sein des structures urbaines contemporaines polycentriques.

Des travaux récents suggèrent néanmoins que les ménages périurbains peuvent être exposés à d'importants coûts de congestion, pour deux raisons principalement. En premier lieu, l'augmentation des prix du logement dans les agglomérations coïncide à la fois avec une dynamique de concentration des emplois dans les cœurs métropolitains (dynamique de métropolisation) et une relégation croissante de catégories de ménages aux revenus moyens ou modestes dans des zones périurbaines de plus en plus lointaines (Donzelot, 2004), contribuant ainsi à accroître les distances de déplacement tout en concentrant les flux de déplacement vers les cœurs d'agglomération, dont les réseaux de transport sont de plus en plus saturés. Les ménages ainsi relégués dans le périurbain lointain subissent à la fois des distances de déplacement importantes et une réduction des vitesses de circulation aux abords des agglomérations (Le Nechet, Nessi & Aguilera, 2016; CAS, 2012). Dans ces espaces, les distances de déplacement vers l'emploi continuent d'ailleurs d'augmenter (Orfeuill & Ripoll, 2015). Les opportunités plus nombreuses expliquent des budgets temps de transport plus importants avec une diversité des comportements à l'intérieur de chaque type résidentiel (Crozet, 2016).

Le deuxième facteur d'exposition des ménages périurbains à la congestion réside dans le poids croissant de la recherche d'aménités dans les choix de localisation. La prise en compte des aménités urbaines complexifie considérablement les schémas de localisation résidentielle. Brueckner, Thisse et Zenou (1999) introduisent par exemple un niveau d'aménités exogènes dans les préférences résidentielles des ménages pour expliquer dans quelle mesure la relation entre la localisation des ménages et leur niveau de revenu dépend de caractéristiques spécifiques d'une ville. Parmi les aménités exogènes, on trouve des aménités patrimoniales centrales liées à la présence de bâtiments, parcs, monuments historiques mais aussi des aménités naturelles et paysagères surtout présentes en périphérie. Les choix de localisation résidentielle vont être fortement influencés par la dotation relative des différentes zones en aménités, mais également par la valorisation relative, par les différentes catégories de ménages, de l'accès aux aménités par rapport à la demande de logement ou au coût de transport. Ainsi, une forte demande en aménités paysagères et récréatives surtout accessibles en zone périurbaine peut conduire à des choix de localisation se traduisant

par d'importants surcoûts de transport et de logement (Cavailhès et al., 2003). D'une manière plus générale, l'accès aux aménités urbaines, caractéristique des villes considérées comme des espaces de consommation, peut modifier considérablement les schémas de déplacement des habitants par rapport à la seule prise en compte de l'accessibilité à l'emploi (Glaeser, Kolko & Saiz, 2001).

Au terme de ce rapide survol de la littérature, trois types de territoires urbains apparaissent potentiellement impactés par la congestion :

- Les pôles d'emplois et de générateurs de déplacements, par un effet de concentration des trafics induisant une réduction locale des vitesses de déplacement;
- Les territoires périurbains à fort niveau d'aménités, pour lesquels la congestion subie peut être la contrepartie de l'accès aux aménités naturelles recherchées;
- Les territoires de « relégation » périurbains, définis comme des territoires très éloignés des lieux d'emplois et recherchés essentiellement en raison du faible coût du logement et du foncier.

L'estimation d'indicateurs territorialisés de congestion doit permettre de tester l'impact des principaux facteurs identifiés par la théorie économique urbaine concernant l'impact spatial de la congestion. Le premier objectif de la démarche est ainsi de proposer une méthode de construction d'indicateurs territorialisés de congestion, dépassant les indicateurs de congestion du réseau classiquement produits dans la littérature, notamment à partir de données GPS. Nous proposons, ci-après, une méthode simulant les temps de parcours des déplacements origine-destination documentés dans les Enquêtes-Ménages-Déplacements de la Métropole Bordelaise à partir des informations de trafic issues d'un jeu de données GPS. Le croisement de ces deux types de sources permet d'estimer les pertes de temps subies par les habitants des différents territoires d'un espace urbain, en fonction de la géographie et du déroulement horaire de leurs déplacements ainsi que du niveau de congestion subi par les itinéraires empruntés. (cf. partie 2).

Le second objectif consiste à tester l'impact effectif des différents facteurs théoriques d'exposition à la congestion qui viennent d'être identifiés. Les indicateurs de congestion territorialisés seront confrontés à une typologie de territoires elle-même construite à partir des résultats théoriques précédents. Trois facteurs d'exposition sont particulièrement retenus : la polarisation intraurbaine des générateurs de déplacements, le phénomène de relégation périurbaine et le rôle des aménités dans les choix de localisation résidentielle. Pour cette raison, la typologie de territoires urbains proposée dans la troisième partie ne se limite pas aux distinctions usuelles (distance au centre, densité, morphologies urbaines ou péri-urbaines) mais cherche à intégrer les différents facteurs potentiels de surexposition à la congestion, afin d'en tester la portée explicative dans le contexte girondin. La dimension sociale du peuplement des différents territoires est ainsi pleinement prise en compte. Une analyse de variance est utilisée pour tester le pouvoir explicatif de ces différents facteurs sur l'exposition à la congestion (cf. 3.2).

Cette démarche est appliquée aux déplacements réalisés au sein de l'agglomération bordelaise à la fin des années 2000 (2008-2009). Cet espace métropolitain est, en effet, marqué par trois caractéristiques favorables à l'investigation proposée : d'une part la congestion des réseaux de transport routiers urbains et péri-urbains a fortement progressé durant les années 2000 et 2010, faisant de Bordeaux la troisième ville française la plus embouteillée selon La 9^e édition du « Traffic Index » publié par TOM-TOM pour l'année 2018. En outre, cet accroissement de la congestion s'est accompagné d'une très forte progression des prix immobiliers, faisant de Bordeaux la deuxième ville la plus « chère » de France en 2018. Enfin, l'agglomération bordelaise se caractérise par un très fort niveau d'étalement urbain, en

raison notamment d'une très forte disponibilité foncière péri-urbaine, et de disparités importantes en termes d'aménités territoriales, liées à la proximité du littoral à l'ouest de l'agglomération et la présence d'un massif forestier source d'aménités récréatives et paysagères.

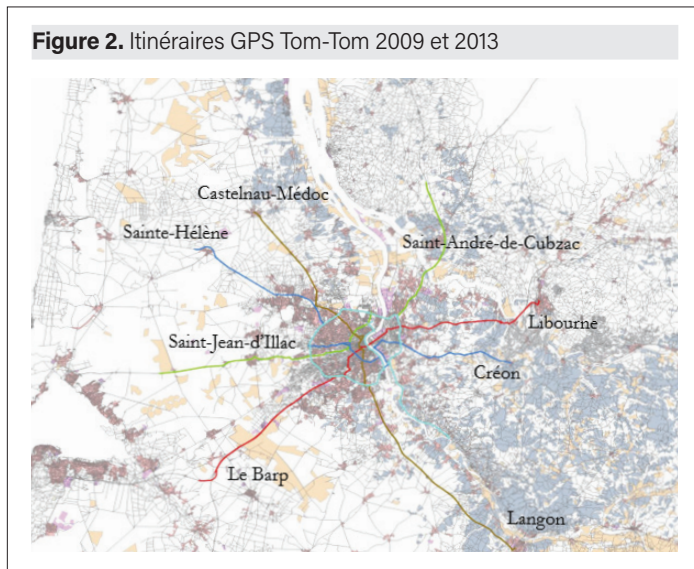
2. LA CONSTRUCTION D'INDICATEURS DE CONGESTION TERRITORIALISÉS

La construction des indicateurs de congestion des réseaux

2.1.1 Les données

La construction des indicateurs réseaux de congestion urbaine s'appuie sur les bases de données de temps de parcours issues des GPS TomTom en 2009 et 2013 fournis par Bordeaux Métropole. Ces données sont compilées en cinq itinéraires allers-retours couvrant les grands axes de circulation du réseau structurant de la métropole ainsi que sa périphérie proche (cf. figure 2).

Le découpage des itinéraires en une multitude de segments de tailles très réduites permet de conduire finement l'analyse. Ces données offrent des informations concernant la vitesse ainsi que les temps de parcours entre les différents segments. Elles concernent uniquement des jours ouvrables, du lundi au jeudi.



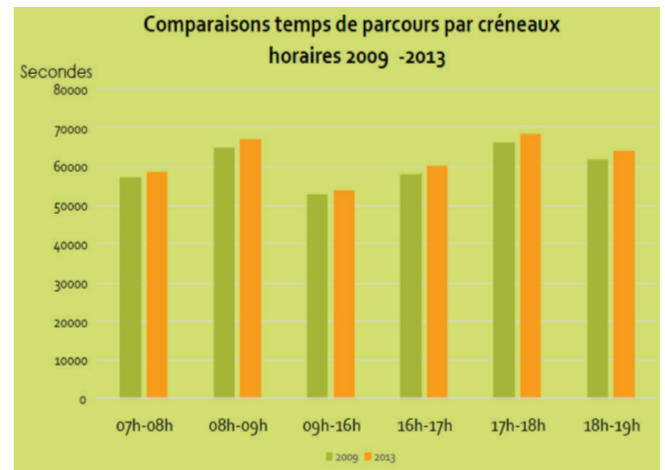
Le découpage de la base de données en six créneaux horaires journaliers (7h-8h, 8h-9h, 9h-16h, 16h-17h, 17h-18h, 18h-19h) donne, en outre, la possibilité de différencier les heures de pointes du matin, du soir ainsi que la période plus creuse de milieu de journée.

À partir de la connaissance du trafic dans les deux sens de circulation sur un même itinéraire, il est, non seulement, possible d'identifier les grandes tendances mais, également, de croiser cette base à une matrice Origine-Destination des déplacements telle que l'Enquête Ménage Déplacements de Bordeaux (cf. *infra*).

Enfin, ces données répertoriées sur les années 2009 et 2013 facilitent les comparaisons et permettent de dégager une vision globale de la dynamique de congestion. En termes de répartition des temps de trajets par créneaux horaires, l'heure de pointe 17h-18h est la plus congestionnée. Son temps de parcours est le plus long. Le créneau horaire 8h-9h correspond au deuxième pic le plus dense de circulation journalière. À l'inverse, le créneau 9h-16h est la période la moins congestionnée de la journée.

Le temps de transport passé sur le réseau de voirie métropolitain a, ainsi, augmenté de 3% entre 2009 et 2013.

Figure 3. Comparaison des temps de parcours par créneaux horaires entre 2009 et 2013



Toutefois, il est important de noter que ces données présentent certaines limites qui peuvent affecter l'analyse.

La première concerne la non exhaustivité du réseau de voirie. Seul cinq itinéraires sont renseignés. La tendance actuelle sur la métropole Bordelaise tend à voir l'augmentation de la congestion sur des parcours plutôt secondaires. Lorsque les grands axes sont saturés, un effet de report se fait ressentir sur les routes secondaires situées à proximité des tronçons congestionnés. Il est impossible de percevoir un tel phénomène avec les données TomTom ou même les données de Trafic Journalier Annuel Moyen.

La base de données TomTom ne permet, en aucun cas, de faire apparaître des informations qualitatives relatives, notamment, au temps passé par les véhicules sur un itinéraire ou au moment où ils entrent ou sortent de celui-ci. Il est donc très difficile de déceler les trajets types des utilisateurs ainsi que les reports d'itinéraires en fonction de la congestion.

Le découpage des segments correspond aux changements de voies des véhicules ou à l'apparition d'événements sur l'itinéraire, type feux rouge, sortie, croisement, etc. La taille des segments et ainsi très hétérogène, ce qui complexifie les calculs et les comparaisons.

Mais le principal problème réside dans le découpage en six créneaux horaires. En effet, afin de calculer les fluctuations du trafic routier, il est nécessaire de disposer d'une heure creuse. Celle-ci permet de définir le temps de parcours à vide d'une infrastructure routière. On peut ensuite la comparer avec les différents créneaux horaires de la journée. Toutefois, le seul temps « creux » renseigné dans la base de données est 9h-16h. Celui-ci ne peut pas être considéré comme un temps calme pour deux raisons. D'une part, la pause méridienne n'est pas différenciée de ce temps plus calme de la journée alors qu'elle est génératrice de flux domicile-travail importants. D'autre part, des études récentes montrent que le phénomène d'étalement de la période de pointe tend à allonger les heures de pics de congestion (Robitaille & Nguyen, 2003).

À Bordeaux, cet étalement des pics de congestion se concentre principalement de 9h à 10h et de 12h à 14h. En outre, le centre d'information et de gestion du trafic régional évoque un étalement du pic de congestion le lundi matin entre 6h et 7h.

La méthode de construction des indicateurs de gestion des réseaux

Un indicateur de congestion est estimé en temps, distance ou vitesse en fonction des situations et des problématiques rencontrées. Ces trois notions sont interconnectées et il est très facile de passer de l'une à l'autre.

Quatre principaux indicateurs de congestion du réseau sont utilisés dans l'analyse. Le premier est l'**indice de comparaison 2009-2013**, il compare tout simplement le temps total de trajet pour réaliser un déplacement entre la périphérie et le centre-ville entre ces deux dates. Le temps de transport passé sur le réseau de voirie métropolitain a, ainsi, augmenté de 3 % entre 2009 et 2013.

Le deuxième indicateur, l'**indice de temps**, calcule le rapport entre le temps de trajet observé et le temps théorique considéré comme un élément de comparaison invariable. Dans l'idéal, l'élément de comparaison invariable devrait correspondre à un temps de parcours sans congestion. Le temps de parcours théorique suppose que le trajet s'effectue sans événement perturbateur et à la vitesse autorisée par le tronçon de voie, c'est pourquoi, nous avons retenu comme *temps théorique* le temps correspondant à la vitesse maximale autorisée.

Le **temps moyen par segment** correspond, quant à lui, à la moyenne de tous les véhicules sur un créneau horaire durant trois mois du lundi au jeudi.

Le biais principal de cet indice réside dans le non-respect des automobilistes de la vitesse réglementaire sur certaines portions. Ce phénomène se matérialise sur les zones d'entrées et de sorties de ville ainsi que sur les portions ralenties par rapport à la vitesse autorisée habituelle (exemple zone 30 le long du tramway ou zone 70 sur la rocade). Par conséquent, ces secteurs apparaissent plus fluides qu'ils ne le sont.

L'**indice de temps perdu** mesure quant à lui la perte de temps due à la congestion en calculant la différence entre le temps de trajet observé et le temps théorique (c'est-à-dire le temps de trajet correspondant à la vitesse maximum autorisée).

La variabilité des temps de trajet constitue une autre dimension bien documentée de la congestion (Coulombel & De Palma, 2014), c'est pourquoi, deux indicateurs de variabilité du temps sont testés dans l'analyse : le premier, l'**indice de prédictibilité** se calcule en faisant le rapport entre le 95^e percentile et le 5^e percentile de la vitesse. La classe vitesse moyenne par segment est triée en vingt parts égales. Le premier centile représente les 5 % de vitesses les plus lentes sur le segment alors que le vingtième centile correspond au 5 % les

plus rapides sur le segment. La division du plus grand centile par le plus petit permet de connaître le pourcentage de prédictibilité. Par conséquent, sur un segment, si les valeurs du 5^e et du 95^e centiles sont très éloignées cela signifie que le taux de prédictibilité est faible. Il est donc difficile de prévoir le temps de parcours sur ce segment car la vitesse peut fortement varier pour un même créneau horaire. À l'inverse, un taux de prédictibilité proche de 100 % signifie qu'il sera facile de prévoir le temps de déplacement pour traverser un segment ou un ensemble de segments de voirie. Cet indice ne permet pas de juger du niveau de congestion mais seulement d'avoir une connaissance plus ou moins fiable du temps de parcours sur le tronçon. C'est pourquoi, nous retiendrons le **coefficient de variation** (rapport entre l'écart-type du temps de trajet observé pour chaque section divisé par le temps de trajet moyen) comme indicateur pertinent d'analyse de la fiabilité des temps de parcours, sachant, comme développé *supra*, que les usagers de la route ont une sensibilité plus importante à la variabilité des temps de parcours qu'à leur durée. Cet indicateur permet, en effet, de comprendre les phases de trafic sur les différents tronçons en montrant les écarts significatifs des temps de parcours par rapport à la valeur moyenne des temps de déplacements. Il permet, en outre, d'identifier l'intensité des variations du trafic selon les axes de transports et les secteurs étudiés.

Le tableau 1 ci-dessous détaille le calcul de ces différents indicateurs.

L'évolution 2009-2013 et l'indice ratio temps théorique 2013 sont négativement corrélés. Les secteurs ayant connu une amélioration importante des temps de trajet entre 2009 et 2013 sont presque systématiquement les tronçons où le temps de parcours est le plus long. Par exemple la N89 en direction de Libourne est un secteur avec un indice de temps très faible, ce qui signifie que ce tronçon est fortement congestionné. À l'inverse, c'est un secteur qui connaît d'importantes améliorations entre 2009 et 2013. Ce constat illustre à la fois les améliorations apportées au réseau mais, également, les changements de pratiques qui s'opèrent chez les automobilistes en fonction du niveau de congestion. L'effet inverse est observable au niveau des quais. L'indice de temps est très bon mais, entre 2009 et 2013, on observe un allongement des temps de parcours. Ce phénomène s'explique par la mise en place d'une politique de mobilité volontariste visant à réduire l'espace réservé à la voiture. Le trafic routier a alors diminué progressivement puisque les conditions de circulation étaient plus difficiles. Entre 2009 et 2013 les conducteurs se sont habitués à la diminution du trafic sur ce secteur et réutilisent, peu à peu, cet itinéraire puisqu'il apparaît comme moins congestionné que d'autres secteurs comme les boulevards.

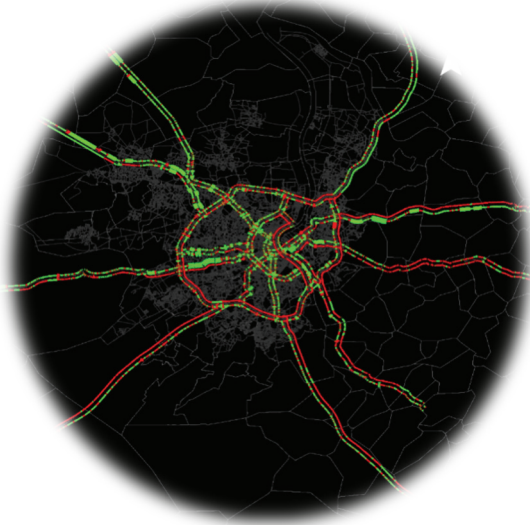
Tableau 1. Les indicateurs réseaux de congestion urbaine calculés à partir de la base de données TomTom 2009-2013

Indicateurs	Base de calcul	Pertinence	Discrétisation
Comparaison 2009-2013	Comparaison d'un temps ou d'une vitesse sur des segments similaires entre 2009 et 2013	Évolution du trafic	Vitesse moyenne Vitesse minimum Vitesse maximum
Indice de temps	Temps moyen par segment/ Temps théorique par segment	Comparer le temps de parcours à un instant t avec une donnée fixe	Trafic rapide Trafic fluide Trafic chargé Trafic saturé
Indice de temps perdu	Temps théorique – temps moyen	Mise en valeur des endroits où l'on perd le plus de temps sur un parcours donné	Temps en secondes
Coefficient de variation	$\frac{\text{Écart-type}}{\text{Temps de trajet moyen par segment}}$	Estimation de l'intensité de la congestion	0;0,5 = trafic fluide 0,5;1 = trafic chargé 1;2 = trafic ralenti intensité 1 2;3 = trafic ralenti intensité 2 3;4 = trafic ralenti intensité 3 4;5 = trafic ralenti intensité 4 > 5 = trafic ralenti intensité 5

Temps théorique : temps de trajet correspondant à la vitesse maximale autorisée sur un tronçon.

Figure 4. Analyse comparative des indicateurs de congestion du réseau

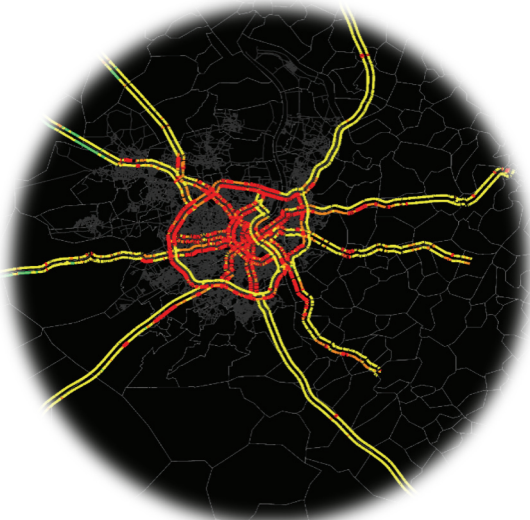
Comparaison 2009-2013



Indice de temps 2013



Indice de fiabilité des temps de parcours



L'indice de temps et l'indice de prédictibilité des temps de parcours montrent des résultats sensiblement similaires. Les secteurs congestionnés seraient, ainsi, les secteurs les plus imprévisibles en termes de temps de trajet et inversement.

2.2 Définition des indicateurs territorialisés de congestion

Les indicateurs de congestion du réseau obtenus à partir des données GPS peuvent être territorialisés, c'est-à-dire calculés pour chaque territoire d'origine des flux de mobilité en fonction des profils spécifiques des zones résidentielles et les caractéristiques locales des ménages telles que leur revenu, leur lieu d'emploi, leur distance de trajets, etc. Par conséquent, nous croisons ici les données GPS avec l'Enquête Ménage Déplacements de la Métropole Bordelaise qui date de 2008 (EMD, 2008) et recueille les comportements de déplacements d'un échantillon d'environ 6000 ménages ainsi que l'enquête Grand Territoire réalisée en 2009 (EGT, 2009) auprès des ménages localisés dans les autres communes de Gironde. Ces bases de données fournissent des informations sur les comportements de mobilité des ménages (nombre de déplacements, mode et destination des trajets quotidiens) selon leur niveau de revenu, leur statut socio-économique et leur lieu d'emploi. La combinaison des informations relevant des matrices origine-destination des déplacements de chaque zone et des données relevant du niveau de congestion sur chaque segment de route du réseau de transport permet de quantifier l'impact de la congestion sur les différents territoires. Un ensemble d'indicateurs d'exposition des ménages et des territoires à la congestion peut ainsi être établi afin d'identifier les territoires les plus impactés.

La définition d'indicateurs territorialisés de congestion suppose de calculer, pour chaque territoire d'origine des flux i , le temps de trajet total cumulé – avec et sans congestion – de l'ensemble des ménages ayant effectué un déplacement à partir de la zone étudiée³.

Le temps de déplacement cumulé sans congestion du territoire i (T_i^{UC}) se définit ainsi :

$$T_i^{UC} = \sum_{j=1}^D t_{ij}^{SC} n_{ij} \quad (1)$$

Où $[t_{ij}^{SC}]$ est la matrice des temps de déplacement théoriques (sans congestion) pour chaque paire origine i – destination j et $[n_{ij}]$ est la matrice des flux de déplacement observés pour chaque paire origine i – destination j .

Le temps de déplacement cumulé avec congestion du territoire i (T_i^C) se définit ainsi :

$$T_i^C = \sum_{j=1}^D t_{ij}^C n_{ij} \quad (2)$$

Où $[t_{ij}^C]$ est la matrice des temps de déplacement observés pour chaque paire origine i – destination j et $[n_{ij}]$ est la matrice des flux de déplacement observés pour chaque paire origine i – destination j .

À partir de ces données, deux types d'indicateurs de congestion territorialisés peuvent être calculés :

a) Le ratio de congestion d'un territoire i (RC_i), exprime le rapport entre temps de déplacement cumulé observé et théorique pour chaque territoire :

$$RC_i = \frac{T_i^C}{T_i^{SC}} \quad (3)$$

³ Il peut s'agir de ménages dont la résidence principale est située sur le territoire considéré mais aussi de ménages non-résidents effectuant un déplacement à partir de de territoire.

b) La perte de temps moyenne par déplacement (PTD_i) se calcule comme l'accroissement des temps de déplacements observés liés à la congestion ($T_i^C - T_i^{UC}$) rapportés au nombre de déplacements effectués à partir du territoire i (N_i):

$$PTD_i = \frac{T_i^C - T_i^{UC}}{N_i} \quad (4)$$

2.3 Production des données et méthode d'appariement entre données GPS et enquêtes ménages

Les matrices de temps de déplacement avec et sans congestion [t_{ij}^C] et [t_{ij}^{UC}] ont été produites à partir des données GPS en utilisant l'algorithme d'optimisation des itinéraires pour chaque paire origine i – destination j (OD cost matrix solver) proposé par l'extension « network analyst » d'ArcGis. Cet algorithme permet en effet de simuler les déplacements optimaux qui peuvent être réalisés entre une origine et une destination en fonction de la structure du réseau de transport et des vitesses observées sur les différents segments.

Les données mobilisables pour calculer les temps de déplacements (données GPS) et les flux de déplacements (enquêtes ménages) sur le territoire de la Gironde imposent toutefois deux contraintes fortes dans la mise en œuvre de la méthode proposée.

D'une part, en raison de la taille limitée des échantillons utilisés pour documenter les flux de déplacement par origine/destination dans les enquêtes ménages, les territoires choisis pour identifier les origines et les destinations analysées des déplacements girondins doivent per-

mettre de maintenir la représentativité de la distribution géographique des déplacements. Ainsi, dans les parties du territoire girondin couvertes par les EGT (pour lesquelles les échantillons interrogés sont plus faibles), le maillage retenu dans l'étude reste plus large. Dans la partie du territoire couverte par l'EMD, une plus grande finesse du découpage en zones d'origine/destination a pu être préservée.

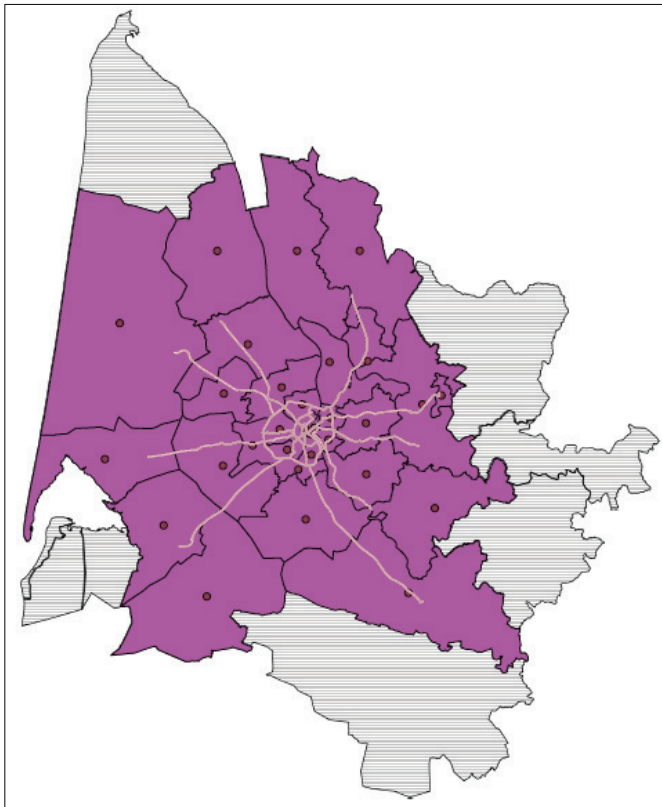
D'autre part, la structure du réseau sur laquelle ont été collectées les données GPS impose de limiter le nombre des territoires d'origine et de destination pour lesquels l'appariement entre données GPS et données d'enquêtes ménages peut être raisonnablement mis en œuvre. Le réseau documenté est effet de structure centripète et ne permet de simuler correctement que les déplacements effectués vers la partie la plus densément peuplée du département girondin. Le nombre de territoires d'origine des flux a ainsi été restreint à 31 territoires parmi les 39 pour lesquels les enquêtes ménages étaient mobilisables.

Huit territoires d'origine ont été exclus de l'étude en raison de leur trop grand éloignement par rapport à la couverture du réseau de transport documenté (cf. figure 5). Parmi ces huit territoires, les cinq localisés au nord ou à l'est de l'agglomération correspondent plutôt à des territoires péri-centraux à revenus modestes. Les trois territoires localisés au sud-ouest de l'agglomération correspondent au Bassin d'Arcachon, zone marquée par des revenus élevés et un fort niveau d'aménités forestières et littorales.

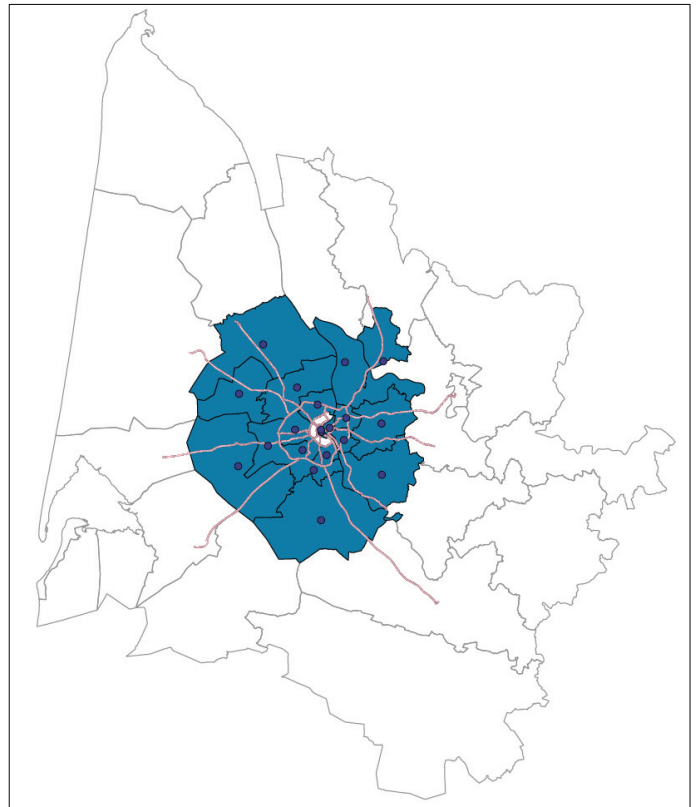
Les territoires de destination des flux de déplacement ont été sélectionnés de manière encore plus restrictive, en raison de la forme centripète du réseau. La simulation des déplacements non centripètes (« de périphérie à périphérie ») produirait en effet des erreurs trop importantes compte tenu de la non-prise en compte de dessertes plus directes dans la base de données GPS. Le nombre de

Figure 5. Les territoires d'origine et de destination des déplacements sélectionnés

a) Les 31 territoires d'origine



b) Les 20 territoires de destination



Source : EMD (2008), EGT (2009), IGN
Réalisation : Passages-GREThA

destinations prises en compte est ainsi limité à 20 territoires « centraux » (cf. figure 5).

Seuls les déplacements originaires de l'un des 31 territoires d'origine et à destination de l'un des 20 territoires de destination ont été pris en compte dans la production d'indicateurs territorialisés de congestion. Pour les 20 territoires « centraux », ces choix conduisent à prendre en compte 98% de l'ensemble des déplacements. Pour les 11 territoires seulement considérés comme origines, 77% des déplacements se font à destination des zones centrales et sont donc pris en compte.

L'appariement entre données GPS et enquêtes ménages a été effectué selon les modalités suivantes :

- L'ensemble des déplacements à destination de l'une des 20 destinations sélectionnées ont été retenus, quel que soit le motif du déplacement. L'appariement entre temps observé de déplacement sur le réseau et origine-destination des déplacements dans les enquêtes ménages tient compte de l'heure de départ et d'arrivée renseignée dans l'enquête ménage, de façon à appliquer aux déplacements considérés les temps de déplacements observés à différentes heures de la journée dans la base de données GPS.

2.4 L'impact de la congestion sur les différents territoires girondins

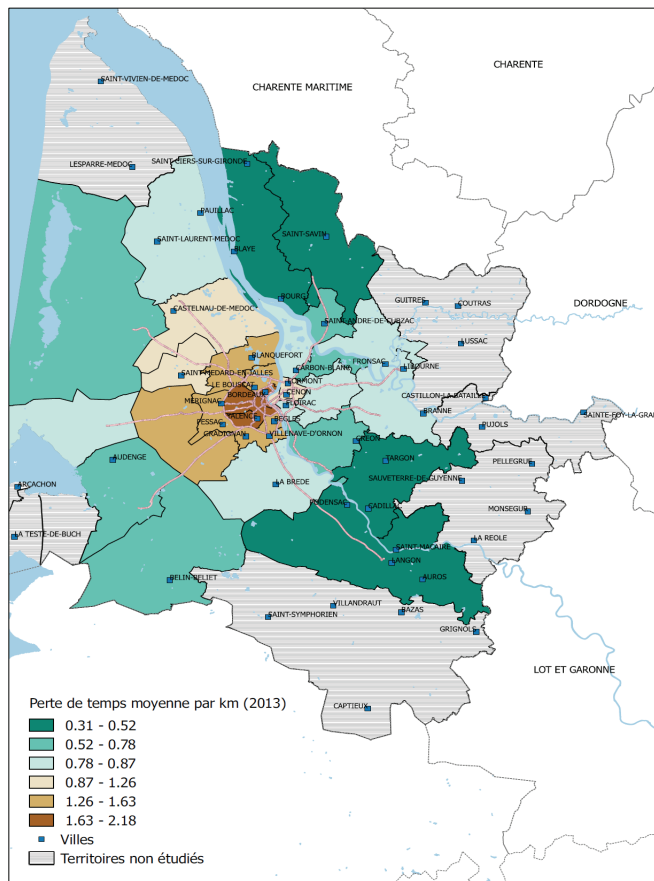
La figure 6 permet de visualiser les disparités de ratio de congestion en Gironde. Conformément aux prédictions théoriques du modèle monocentrique, la congestion ainsi mesurée suit très largement un

schéma radiocentrique. Le ratio de congestion atteint son maximum dans l'hypercentre de l'agglomération bordelaise, où les temps de déplacements réels sont trois fois plus élevés que les temps de déplacements théoriques (fondés sur les vitesses maximales autorisées). Ce ratio décroît dans les communes de première et deuxième couronne de l'agglomération bordelaise, mais demeure à un niveau élevé, notamment, dans les territoires dans lesquels sont implantés des pôles d'emplois structurants. L'implantation d'un nombre important d'activités économiques sur ces territoires renforce les effets de congestion en multipliant des pôles générateurs de déplacements et en superposant les déplacements à origine et à destination de ces zones.

Le ratio de congestion décroît plus nettement au-delà des limites de l'agglomération bordelaise. Pour ces territoires, les temps de déplacements observés n'excèdent jamais le double du temps théorique. Des disparités apparaissent toutefois entre ces territoires non métropolitains. Le ratio de congestion est ainsi particulièrement faible dans l'entre-deux-mers et le territoire sud Gironde, où les temps de déplacement constatés n'excèdent que de 50% les durées minimales.

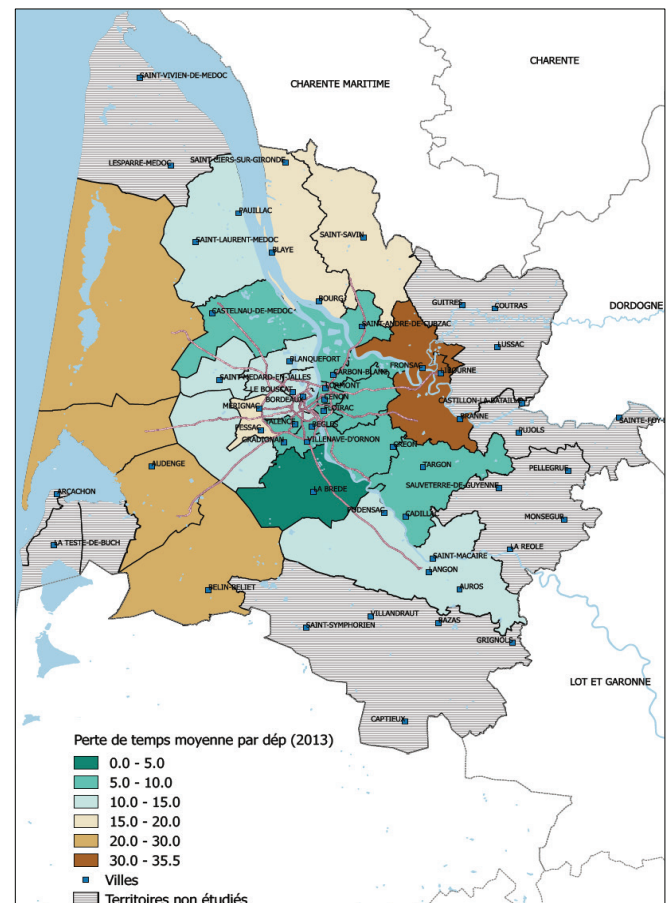
La mesure territorialisée de la congestion par le ratio de congestion présente toutefois une limite importante : elle ne tient pas compte de la longueur plus importante des déplacements dans les territoires éloignés de l'agglomération bordelaise, pour lesquels la congestion induit mécaniquement davantage de temps consacré au transport en raison de l'encombrement du réseau. Il importe donc, pour mieux appréhender l'impact de la congestion dans ces territoires, de mesurer le supplément de temps que doivent consacrer les ménages à leurs déplacements du fait de la congestion.

Figure 6. Mesure du ratio de congestion sur les territoires girondins en 2009



Sources : EMD (2008), EGT (2009), IGN, Base TOM TOM
Réalisation : Passages-GREThA

Figure 7. Mesure de la perte de temps moyenne par déplacement en 2009



Sources : EMD (2008), EGT (2009), IGN, Base TOM TOM
Réalisation : Passages-GREThA

L'indicateur de perte moyenne de temps par déplacement présenté plus haut permet d'appréhender cette dimension. Ainsi que l'indique la figure 7, il met en évidence une géographie très différente des impacts territorialisés de la congestion. Au regard de cet indicateur, les territoires les plus éloignés de l'agglomération bordelaise subissent des pertes de temps nettement plus marquées. Alors que la perte de temps liée en moyenne à un déplacement dans l'hypercentre de l'agglomération reste limitée à 10 à 15 minutes, elle atteint plus de 20 minutes dans les territoires littoraux du Médoc, du nord du bassin d'Arcachon et du Val de l'Eyre. La perte de temps atteint même 30 à 35 minutes dans l'est du département (Libournais).

Il existe en outre d'importantes disparités entre territoires non métropolitains. L'Entre-Deux-Mers et le Sud Gironde connaissent des pertes de temps beaucoup plus limitées que les autres territoires situés à des distances comparables de l'agglomération bordelaise.

Afin de mieux appréhender les facteurs explicatifs de ces disparités, il est possible de décomposer l'indicateur de perte moyenne de temps par déplacement en deux composantes : la perte de temps par kilomètre parcouru et la distance moyenne de déplacement au sein de chaque territoire. L'indicateur se décompose en effet de la manière suivante :

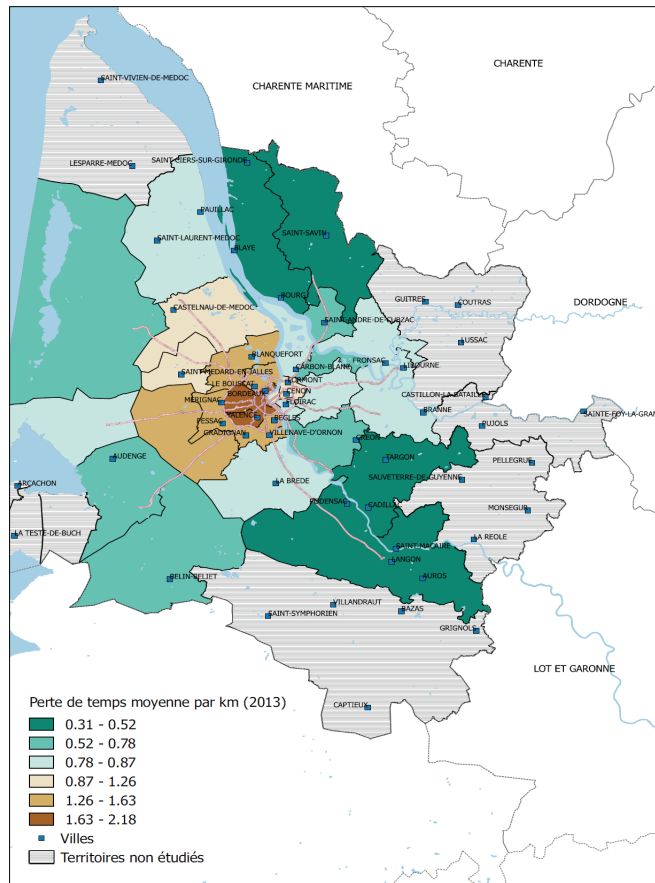
$$PTD_i = \frac{T_i^C - T_i^{SC}}{N_i} = \underbrace{\frac{T_i^C - T_i^{SC}}{L_i}}_{\text{Perte de temps par km}} \times \underbrace{\frac{L_i}{N_i}}_{\text{Nombre moyen de km par déplacement}} \quad (5)$$

Les figures 8 et 9 présentent séparément la cartographie des ces deux composantes sur le territoire étudié. Les pertes de temps par kilomètre parcouru suivent logiquement un gradient monocentrique marqué. En raison de la saturation plus forte du réseau de transport dans ses parties centrales, les pertes de temps par km y sont beaucoup plus importantes que dans les autres territoires girondins. La carte 10 souligne à l'inverse la forte augmentation des distances de déplacement dans ces territoires, qui excède souvent 35 km. L'importance de pertes de temps enregistrées dans le Libournais s'explique ainsi par la combinaison de distances parcourues très élevées et de pertes de vitesse de circulation importantes (entre 0,78 et 0,87 minutes/km) au regard de l'éloignement de ce territoire. La même explication prévaut sur les territoires littoraux. À l'inverse, le Sud Gironde parvient à contenir les pertes de temps par déplacement grâce à la relative fluidité du trafic sur les axes empruntés à partir de ce territoire. Les déplacements sont aussi longs que pour d'autres territoires comparables, mais les pertes de vitesse sont nettement plus faibles (de 0,3 à 0,5 minutes/km).

3. LES IMPACTS TERRITORIAUX DE LA CONGESTION URBAINE

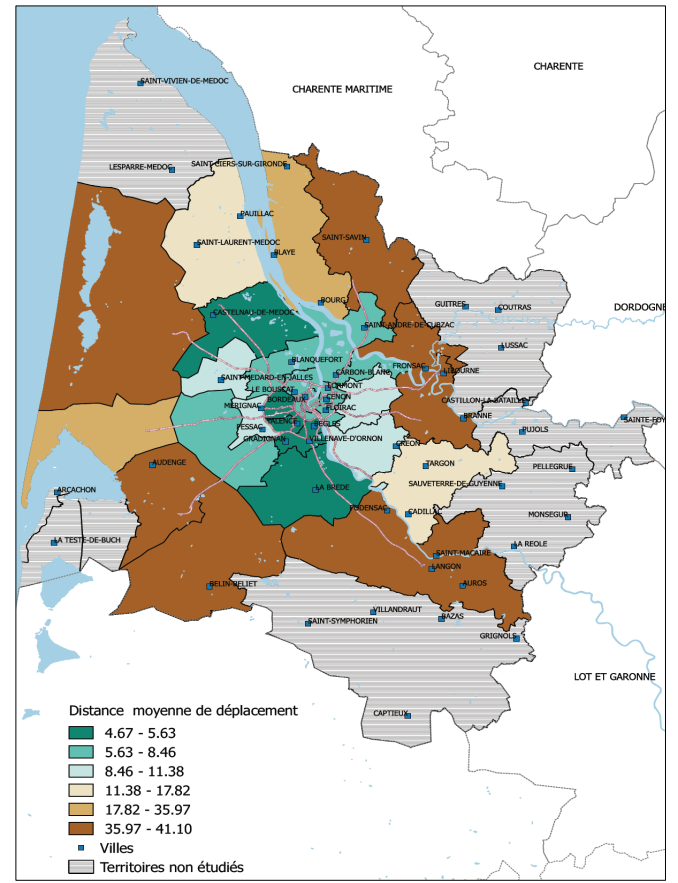
Cette partie vise à évaluer l'impact de la congestion sur les différents territoires en testant les différents facteurs identifiés par la théorie et discutés plus haut. Trois facteurs sont particulièrement retenus : la polarisation intraurbaine des générateurs de déplacements, l'arbitrage entre prix du foncier et coût de transport généralisé et le phénomène de relégation périurbaine et le rôle de plus

Figure 8. Perte de temps moyenne par km parcouru en 2009



Sources : EMD (2008), EGT (2009), IGN, Base TOM TOM
Réalisation : Passages-GREThA

Figure 9. Distance moyenne de déplacement en 2009



Sources : EMD (2008), EGT (2009), IGN, Base TOM TOM
Réalisation : Passages-GREThA

Tableau 2. La construction de la typologie: dimensions et indicateurs mobilisés

Dimension	Variables utilisées
Localisation	1) Distance au centre de la métropole 2) Distance à la rocade périphérique
Orientation fonctionnelle des territoires	1) Polarisation de l'emploi : Nombre d'emplois par actif (source : INSEE 2009) 2) Aménités naturelles : - Distance au littoral (source : trait de côte IGN 2010) - Part de la forêt dans l'occupation du sol (source: BD carto IGN 2010)
Profil socio-économique des territoires	1) Catégories socio-professionnelles : ratio cadres et professions intellectuelles supérieures/ouvriers (source : INSEE RGP 2009) 2) Revenu médian par UC (source : INSEE 2009)

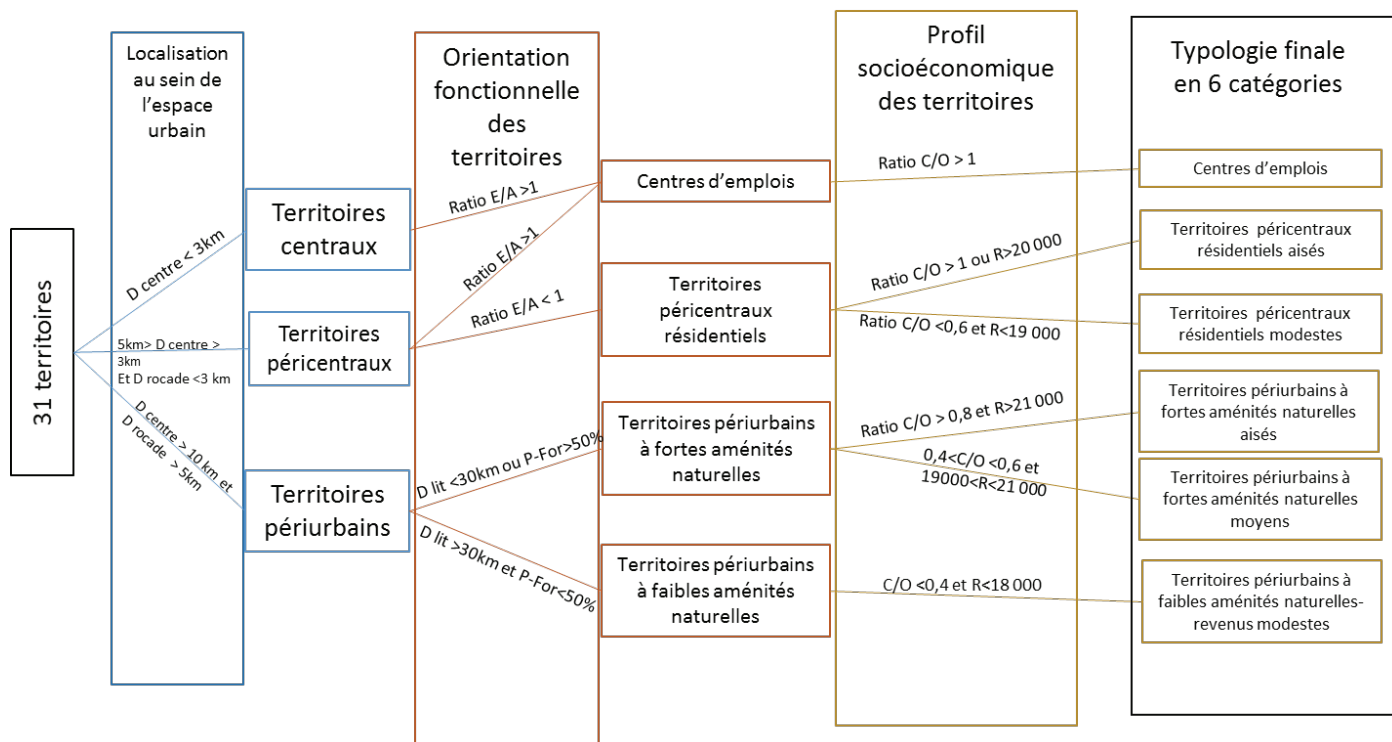
en plus structurant des aménités dans les choix de localisation résidentielle. Compte tenu du nombre limité de territoires observés et de l'absence de données individuelles sur l'exposition à la congestion, le corpus de données ne permet pas de tester l'impact de ces différents facteurs à travers une modélisation économétrique adéquate. Nous proposons donc ici un dispositif d'analyse différent, fondé sur la construction d'une typologie des territoires d'étude combinant les facteurs théoriques mentionnés (3.1) que nous confrontons ensuite à l'indicateur territorialisé de congestion construit précédemment (3.2). Une analyse des évolutions combinées de la congestion, du peuplement et des prix des logements est enfin discutée (3.3).

3.1 Une typologie des territoires girondins

La typologie des territoires girondins est fondée sur la combinaison de trois facteurs d'exposition à la congestion identifiés par la théorie : la localisation au sein de l'espace urbain, les dotations en aménités et en activités génératrices de déplacements des différents territoires et enfin le profil socio-économique de ces derniers.

La localisation au sein de l'espace métropolitain est appréhendée à travers deux indicateurs traduisant le niveau d'accessibilité des territoires: la distance au centre principal mais aussi la distance aux infrastructures de transport. L'orientation fonctionnelle des territoires est appréhendée à travers deux aspects principaux: le niveau de polarisation des activités économiques sur les différents territoires et la présence d'aménités naturelles et paysagères. La polarisation de l'emploi traduit la présence de générateurs de déplacements, notamment domicile-travail, en plus des fonctions résidentielles des territoires. Elle est mesurée à travers le ratio du nombre d'emplois au lieu de travail par actif résident sur le territoire. La recherche d'aménités paysagères est également susceptible d'induire des stratégies de localisation résidentielle éloignées des lieux d'emploi, allongeant en conséquence les distances de déplacement et les niveaux de congestion subis par les habitants de ces territoires. Dans le cas de la métropole bordelaise, deux types d'aménités bien documentées influent sur les choix de localisation résidentielle: les aménités littorales (Pouyane et al., 2016) et la présence de la forêt (Tu et al., 2016). L'accès à ces aménités est mesuré

Figure 10. Construction de la typologie territoriale : hiérarchie des dimensions et seuils retenus*



* D_{centre} : distance au centre ; D_{rocade} : distance à la rocade ; $\text{ratio } E/A$: Nombre d'emplois par actif ; D_{lit} : distance au trait de côte ; $P\text{-For}$: part de la surface communale forestière ; $\text{ratio } C/O$: nombre de cadres et PIS/nombre d'ouvriers ; R : revenu médian par unité de consommation

d'une part par la distance au trait de côte, d'autre part par la proportion de la surface de la forêt dans l'usage du sol communal (cf. tableau 2). Enfin, le profil socio-économique des territoires est appréhendé, de manière classique à travers deux dimensions complémentaires : le niveau de revenu médian par unité de consommation et la présence des différentes catégories socio-professionnelles sur le territoire. Ici le rapport entre le nombre de « cadres et PIS » et le nombre « d'ouvriers » est utilisé comme indicateur synthétique du profil socio-économique de chaque territoire.

Ces 7 indicateurs sont utilisés pour construire une typologie des territoires à partir d'une approche hiérarchique descendante décrite à la figure 10. Cette méthode a été préférée aux méthodes plus classiques de classification telles que les nuées dynamiques ou la classification ascendante hiérarchique en raison, d'une part, du faible nombre de territoires (31) et d'autre part de la non linéarité de l'effet des principaux indicateurs utilisés.

Les indicateurs de localisation permettent de distinguer dans un premier temps les espaces centraux (moins de 3 km du centre) les espaces péricentraux (entre 3 et 5 km du centre et à moins de 5 km de la rocade) et les espaces périurbains, situés à plus de 10 km du centre et plus de 5 km de la rocade.

L'orientation fonctionnelle des territoires permet ensuite de regrouper les territoires centraux et certains territoires péricentraux ayant un fort niveau de polarisation de l'emploi (pôles secondaires d'emplois) sous la catégorie de « centres d'emplois ». Ces territoires affichent tous un nombre d'emplois par actif supérieur à 1. Les autres territoires péricentraux ont une vocation plus résidentielle. Les deux indicateurs d'aménités sont largement corrélés et permettent de scinder les territoires périurbains en deux catégories : les territoires périurbains à fortes aménités sont situés à moins de 30 km du trait de côte et ont une couverture forestière représentant plus 50 % de leur territoire.

L'analyse du profil socio-économique permet d'affiner cette typologie en distinguant :

- Les territoires péricentraux aisés (rapport cadres/ouvriers supérieur à 1 et revenu médian par UC supérieur à 20000 euros) et modestes (le rapport cadres/ouvriers est inférieur à 0,6 et revenu médian par UC inférieur à 19000 euros).
- Les territoires périurbains à fortes aménités aisés (rapport cadres/ouvriers supérieur à 0,8 et revenu médian par UC supérieur à 21000 euros) et à revenu moyen (le rapport cadres/ouvriers est inférieur à 0,4 et revenu médian par UC compris entre 19000 et 21000 euros).

Les territoires périurbains à faibles aménités sont homogènes d'un point de vue socio-économique avec une faible proportion de cadres et un niveau de revenu nettement plus faible que les autres territoires (revenu par UC inférieur à 18000 euros)

La typologie finale permet de distinguer 6 grands types de territoires. La robustesse de cette typologie peut être éprouvée de deux manières. D'une part, le tableau 3 permet de tester, par une analyse de variance, la significativité des différences de moyennes pour chacun des 7 indicateurs entre les territoires obtenus. L'ensemble des différences de moyennes apparaissent significatives au seuil de 1%. Une analyse de variance multiple (MANOVA) permet de prendre en compte les corrélations entre les 7 variables et confirme la forte différenciation des 6 catégories de territoires (tableau 4). Enfin, nous avons soumis Les différents territoires à une analyse discriminante linéaire incluant les 7 variables utilisées précédemment. L'analyse discriminante permet de classer correctement 90,3 % des territoires.

3.2 Estimation des impacts territoriaux de la congestion

La typologie précédente permet de tester l'impact de la congestion sur les différents types de territoires, en fonction des facteurs théo-

Tableau 3. La robustesse de typologie-analyse de variance à un facteur

Typologie	Distance Centre	Distance rocade	Nombre d'emploi par actif	Part de l'emprise forestière	Distance au littoral	Revenu médian par UC	Ratio Cadres-PIS/Ouvriers
Centres d'emplois	3,86	-2,54	1,58	0,08	37,51	19456	1,55
T Péricentraux résidentiels aisés	4,14	-1,09	0,74	0,07	37,88	21111	1,41
T Péricentraux résidentiels modestes	6,91	1,73	0,84	0,09	44,47	16999	0,39
T Périurbains à fortes aménités aisés	13,07	7,31	0,56	0,43	37,01	22317	1,08
T Périurbains à fortes aménités-revenu moyen	29,54	22,67	0,42	0,66	22,78	19712	0,50
T Périurbains revenus modestes	33,49	27,36	0,53	0,25	53,87	17119	0,29
Valeur moyenne	14,46	8,55	0,80	0,30	39,20	19623	0,95
F test	25,64***	31,25**	4,96***	6,58***	4,14***	10,19***	18,53***

* : indique une significativité à 10% ; ** : indique une significativité à 5% ; *** : indique une significativité à 1%

Tableau 4. La robustesse de typologie-analyse de variance multiple

Statistique MANOVA (7 variables)	Valeur	F test
W = Wilks' lambda	0,0033	6,8***
P = Pillai's trace	2,817	4,24***
L = Lawley-Hotelling trace	19,0402	9,47***
R = Roy's largest root	13,0163	42,77***

* : indique une significativité à 10% ; ** : indique une significativité à 5% ; *** : indique une significativité à 1%

Tableau 5. Impact de la congestion sur les différents types de territoires girondins

Typologie	Perte de temps par déplacement 2009	Perte de Temps par km 2009	Longueur moyenne des déplacements 2009
Centres d'emplois	14,00	1,91	7,50
T Péricentraux résidentiels aisés	9,10	1,61	5,72
T Péricentraux résidentiels modestes	8,07	1,16	7,26
T Périurbains à fortes aménités aisés	7,32	0,93	7,95
T Périurbains à fortes aménités-revenu moyen	14,37	0,65	24,62
T Périurbains revenus modestes	18,07	0,54	33,60
Valeur moyenne	11,97	1,19	14,14
F test	3,01**	26,1***	13,69***

* : indique une significativité à 10% ; ** : indique une significativité à 5% ; *** : indique une significativité à 1%

Tableau 6. Impact de la congestion, trajectoire démographique et niveau de prix des logements en 2009

Typologie	Perte de temps par déplacement 2009	TCAMP 1999-2006	TCAMP 2006-2009	Prix médian m ² des maisons en 2009
Centres d'emplois	14,00	1,08%	0,87%	2713,1
T Péricentraux résidentiels aisés	9,10	0,69%	0,13%	2498,3
T Péricentraux résidentiels modestes	8,07	0,70%	-0,14%	2190,7
T Périurbains à fortes aménités aisés	7,32	1,12%	0,77%	2205,8
T Périurbains à fortes aménités-revenu moyen	14,37	2,36%	2,34%	2133,4
T Périurbains revenus modestes	18,07	1,25%	1,87%	1487,4
Valeur moyenne	11,97	1,15%	0,95%	2226,1
F test	3,01**	5,03***	9,56***	17,48***

* : indique une significativité à 10% ; ** : indique une significativité à 5% ; *** : indique une significativité à 1%
TCAMP : Taux de croissance annuel moyen de la population

riques d'exposition à la congestion discutés plus haut. L'indicateur territorialisé de congestion utilisé ici est la perte de temps par déplacement en 2009, conformément à la discussion des différents indicateurs menée ci-avant. Le tableau 5 indique la perte de temps par déplacement moyenne pour chaque type de territoire, soumise à une analyse de variance à un facteur.

Trois types de territoires apparaissent particulièrement affectés par la congestion. Les plus affectés sont les territoires périurbains à revenu modeste, qui subissent en 2009 une congestion moyenne supérieure à 18 minutes par déplacement. Ce résultat confirme l'une des hypothèses à l'origine de ce travail : la relégation de populations à faible revenu dans des territoires éloignés des centres d'emplois en raison de la recherche de coûts de logements plus faibles expose ces populations à un niveau de congestion très important, en raison principalement de distances de déplacement moyennes très élevées, supérieures à 33 km. Le tableau 6 indique que ces territoires présentent un prix médian des maisons en 2009 très largement en dessous de la moyenne, à moins de 1500 euros/m², quand tous les autres territoires se situent au-delà de 2000 euros. Ces territoires ont également connu une accélération de leur croissance démographique sur la période récente, le taux de croissance annuel moyen de la population passant de 1,25% entre 1999 et 2006 à 1,87% entre 2006 et 2009.

Deux autres catégories de territoires subissent également des niveaux de congestion plus importants que la moyenne : les territoires périurbains à fortes aménités et à revenu moyen et les centres d'emplois, qui subissent un niveau de congestion de l'ordre de 14 minutes par déplacement. Les territoires périurbains à fortes amé-

nités et à revenu moyen subissent des distances de déplacement importantes (plus de 24 km en moyennes) qui apparaissent comme la contrepartie de l'accès aux aménités naturelles fortement accessibles sur ces territoires. Ces derniers connaissent d'ailleurs, en dépit de prix médians des maisons nettement plus élevés que dans le périurbain modeste (plus de 2133 euros), une très forte attractivité démographique, avec des taux de croissance annuels moyens de la population supérieurs à 2,3% sur l'ensemble des années 2000. Cette deuxième logique territoriale d'exposition à la congestion combine donc la recherche d'aménités périurbaines, capitalisées dans des prix plus élevés du logement, éloignement aux centres d'emplois et forte croissance démographique.

Les centres d'emplois subissent également une perte de temps par déplacement moyenne de l'ordre de 14 minutes, en raison du niveau élevé de congestion du réseau de transport utilisé, qui cumule les flux résidentiels émis et les flux de destination produits par l'agglomération des générateurs de déplacements sur ces territoires. La perte de temps par déplacement atteint ainsi 1,9 minutes par km, contre 1,2 en moyenne sur les territoires étudiés. Cette troisième configuration vérifie la prédiction du modèle monocentrique canonique d'une forte congestion du réseau autour des centres d'emplois.

Le tableau 7 permet d'isoler le niveau de congestion subi, dans les différents types de territoires, par les seuls ménages dont la personne référente est un actif occupant un emploi, selon les données des enquêtes « ménages déplacements » et « grands territoires » utilisées dans cette étude. Isoler cette population particulière permet de compléter les résultats précédents en analysant le niveau

Tableau 7. Impact de la congestion sur les actifs occupés en 2009

Typologie	Perte de temps par déplacement en 2009 [Ensemble des ménages]	Perte de temps par déplacement en 2009 [Actifs occupés]	Écart en minutes
Centres d'emplois	14,00	15,27	1,27
T Péricentraux résidentiels aisés	9,10	10,90	1,80
T Péricentraux résidentiels modestes	8,07	8,50	0,43
T Périurbains à fortes aménités aisés	7,32	9,33	2,01
T Périurbains à fortes aménités-revenu moyen	14,37	17,56	3,19
T Périurbains revenus modestes	18,07	20,03	1,96
Valeur moyenne	11,97	15,27	
F test	3,01**	2,76**	

* : indique une significativité à 10% ; ** : indique une significativité à 5% ; *** : indique une significativité à 1%

Tableau 8. Perte de temps par déplacement en 2009 par CSP et type de territoire

Typologie	Cadres et PIS	Professions interméd.	Employés	Ouvriers	Artisans, Commer.
Centres d'emplois	16,86	15,42	14,93	16,06	13,31
T Péricentraux résidentiels aisés	11,39	10,94	10,16	12,16	11,32
T Péricentraux résidentiels modestes	11,74	9,23	6,80	9,43	10,28
T Périurbains à fortes aménités aisés	11,82	10,59	8,65	11,36	12,97
T Périurbains à fortes aménités-revenu moyen	20,83	27,40	19,63	21,44	24,75
T Périurbains revenus modestes	26,70	31,90	24,81	28,43	29,47
Valeur moyenne	19,35	22,88	17,50	19,50	19,67
ANOVA à deux facteurs (type de territoire, CSP) + interaction :	F(territoire) = 10,57***		F(CSP) = 0,53		F(type de territoire* CSP) = 0,23

* : indique une significativité à 10% ; ** : indique une significativité à 5% ; *** : indique une significativité à 1%

Tableau 9. Part des différentes CSP dans population active occupée en 2009

Typologie	Cadres et PIS	Professions interméd.	Employés	Ouvriers	Artisans, Commer.
Centres d'emplois	23,3%	27,5%	28,5%	15,4%	5,3%
T Péricentraux résidentiels aisés	21,3%	28,7%	29,7%	15,6%	4,7%
T Péricentraux résidentiels modestes	10,1%	23,5%	34,7%	26,4%	5,3%
T Périurbains à fortes aménités aisés	18,5%	29,2%	28,4%	17,6%	6,2%
T Périurbains à fortes aménités-revenu moyen	11,2%	24,9%	32,2%	24,1%	7,6%
T Périurbains revenus modestes	8,6%	22,3%	30,9%	31,8%	6,3%
Valeur moyenne	16,5%	26,4%	30,3%	21,0%	5,8%

de congestion d'une population particulièrement contrainte, dans ses déplacements, par la localisation des emplois par rapport à son lieu de résidence. Les résultats indiquent logiquement que les actifs occupés subissent systématiquement un niveau de congestion plus élevé que les autres ménages. Ce surplus de congestion est toutefois particulièrement marqué pour deux catégories de territoires : les territoires périurbains à fortes aménités et le périurbain modeste. Dans le cas du périurbain modeste, les choix de localisation résidentielle contraints par la recherche de logements accessibles pèsent particulièrement sur les actifs occupés en les éloignant fortement de leurs lieux de travail, avec un niveau de congestion supérieur à 20 minutes par déplacement en moyenne. La contrainte des choix de localisation résidentielle est également très forte dans le cas des territoires à fortes aménités, la recherche de ces dernières pesant

spécifiquement sur l'éloignement par rapport aux lieux d'emplois, avec un excès de congestion de 2 à 3 minutes.

Le dispositif d'analyse proposé permet de tester une dernière hypothèse. Existe-t-il un effet spécifique de la catégorie socio-professionnelle sur le niveau de congestion subi au sein d'un même type de territoire ? On peut notamment légitimement supposer une capacité plus grande des CSP à revenu ou patrimoine élevé, comme les cadres et PIS à choisir leur localisation résidentielle que des populations en situation de mobilité subie. Une analyse de variance à deux facteurs avec interaction (le type de territoire et la CSP) conclue pourtant à l'absence d'effet significatif de la CSP sur le niveau de gestion subie (cf. tableau 8). Ce résultat ne signifie évidemment pas que les différentes CSP sont exposées de la même manière à la congestion, puisque leur localisation dans les différents types

Tableau 10. Les trajectoires d'évolution des différents types de territoires

Typologie	Évolution de la perte de temps par km 2009-2013 (en min)	TCAM population 2009-2013	TCAM population 2013-2015	TCAM prix médian des maisons 2009-2014	TCAM prix médian des maisons 2014-2018
Centres d'emplois	0,05	0,76%	1,50%	4,16%	9,96%
T Péricentraux résidentiels aisés	0,24	1,30%	1,10%	3,78%	7,44%
T Péricentraux résidentiels modestes	0,00	1,33%	2,52%	1,58%	6,05%
T Périurbains à fortes aménités aisés	0,15	1,59%	1,67%	2,14%	5,46%
T Périurbains à fortes aménités-revenu moyen	0,08	2,09%	2,54%	1,56%	5,28%
T Périurbains revenus modestes	0,01	1,17%	0,58%	0,17%	2,73%
Valeur moyenne	0,10	1,32%	1,51%	2,45%	6,39%
F test	3,26**	2,66**	2,38*	8,65***	9,74***

* : indique une significativité à 10% ; ** : indique une significativité à 5% ; *** : indique une significativité à 1%
TCAM : Taux de croissance annuel moyen

de territoires est extrêmement hétérogène, comme l'indique le tableau 9. Les ouvriers sont, par exemple, largement surreprésentés dans le périurbain modeste et les employés dans le périurbain à revenu moyen. Les différences de CSP interviennent ainsi massivement dans le peuplement des différents types de territoires, mais ne jouent pas de rôle résiduel significatif dans l'exposition à la congestion pour un même type de territoire.

LES TRAJECTOIRES D'ÉVOLUTION DES DIFFÉRENTS TERRITOIRES

À titre exploratoire, nous proposons ici une analyse synthétique des trajectoires d'évolution des différents types de territoires après 2009, de façon à éclairer les mécanismes d'ajustement possibles des différentes configurations territoriales. Cette analyse reste exploratoire dans la mesure où le corpus de données et le dispositif d'analyse ne permettent pas d'isoler un effet causal du niveau de congestion sur les évolutions constatées, mais seulement d'identifier des tendances permettant de suggérer des hypothèses d'analyse. Le tableau 10 indique, pour chaque catégorie de territoire, l'évolution de la congestion entre 2009 et 2013, leur évolution démographique ainsi que la dynamique des prix médians des maisons individuelles. Ces données permettent d'appréhender les évolutions combinées de la mobilité, des choix de localisation résidentielle et des prix du logement sur le territoire d'étude. L'évolution de la congestion est mesurée, entre 2009 et 2013, par l'évolution absolue des pertes de temps par déplacement entre 2009 et 2013 (ΔPTC_i), exprimée en minutes :

$$\Delta PTC_i = \frac{PTC^{2013}}{N_i} - \frac{PTC^{2009}}{N_i} \quad (6)$$

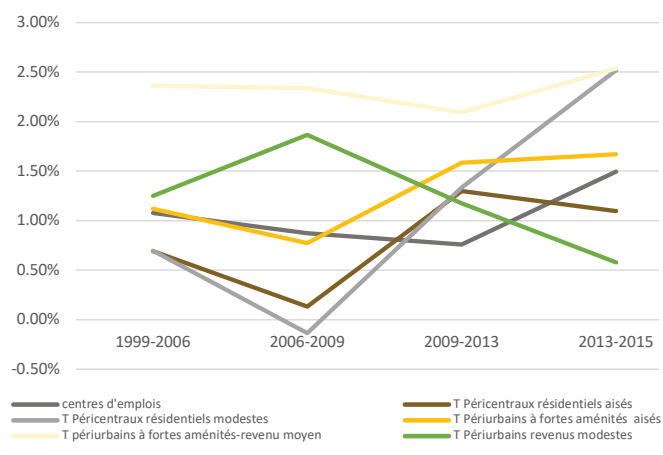
Les flux de déplacements utilisés pour la simulation en 2009 et 2013 sont toutefois identiques (EMD, 2008 et EGT, 2009), ces enquêtes n'étant pas reproduites dans un délai aussi court. Cet indicateur estime donc l'évolution locale de la congestion à *structure constante de la géographie des déplacements*.

Trois tendances apparaissent à la lecture de ces résultats. Tout d'abord, on constate un net ralentissement de l'attractivité démographique du périurbain modeste, dont le taux annuel moyen décline fortement après 2009 (cf. figure 11). Ce ralentissement est pourtant assorti d'un maintien de prix du logement beaucoup plus faible que dans le reste du territoire, puisque les taux d'évolution des prix

restent très en dessous des valeurs moyennes. Sur ces territoires, on constate en même temps une quasi-stagnation du niveau de congestion entre 2009 et 2013. Une interprétation possible de ces données est que le niveau très élevé de congestion subi notamment par les actifs occupés sur ces territoires remet en cause les stratégies de localisation en quête de foncier accessible. Cette hypothèse est d'autant plus crédible qu'elle coïncide avec une tendance à la prise démographique des espaces centraux et des quartiers péricentraux, notamment les plus modestes, dont la croissance démographique accélère fortement sur la période 2013-2015, en dépit d'une croissance soutenue des prix du logement. Une recentralisation de la croissance démographique bordelaise semble donc s'esquisser, notamment en direction des communes de première couronne modestes, qui pourrait constituer l'un des ajustements à l'augmentation de la congestion subie en périurbain éloigné, d'ailleurs recherché par les politiques d'aménagement urbaines locales.

En revanche, les territoires périurbains à fortes aménités conservent un haut niveau d'attractivité démographique en dépit d'une congestion élevée en 2009 et en progression entre 2009 et 2013 et d'une croissance soutenue des prix du logement, supérieure à 5 % par an entre 2014 et 2018. La recherche d'aménités périurbaines semble ici contrebalancer les niveaux de congestion croissants de ces territoires.

Figure 11. Dynamiques démographiques des différents types de territoires



CONCLUSION

Cet article a permis de mieux comprendre l'impact local de la congestion sur les différents sous-espaces d'une aire urbaine alors que jusqu'ici les travaux académiques se sont plutôt attachés à relier les morphologies urbaines au niveau de congestion en apportant des résultats controversés.

La méthode d'analyse de l'impact de la congestion sur les différents types de territoires adoptée ici a permis d'identifier, dans un premier temps, trois types de territoires particulièrement affectés par la congestion : les territoires périurbains à revenu modeste, les territoires périurbains à fortes aménités et à revenu moyen et les centres d'emplois. Les résultats ont montré, dans un deuxième temps, que les actifs occupés subissent systématiquement un niveau de congestion plus élevé que les autres ménages, particulièrement, pour deux catégories de territoires : les territoires périurbains à fortes aménités et le périurbain modeste sans pour autant révéler de différenciation significative entre les CSP.

Enfin, cette analyse souligne que le niveau très élevé de congestion subi, notamment, par les actifs occupés du périurbain modeste (où l'on observe un net ralentissement de l'attractivité démographique ces dernières années) remet en cause les stratégies de localisation en quête de foncier accessible. À contrario, les territoires périurbains à fortes aménités conservent un haut niveau d'attractivité démographique en dépit d'une congestion élevée qui refléterait le prix des aménités urbaines.

La coexistence de ces deux effets doit amener à s'interroger sur les capacités d'adaptation des ménages vulnérables et des territoires en termes de mobilité et de choix de localisation résidentielle dans les territoires périurbains hétérogènes. Afin d'y apporter une réponse efficiente, il ne faudra pas omettre que l'espace urbain se caractérise par des déplacements et des localisations qui se co-déterminent l'un l'autre, les formes urbaines peuvent, certes, générer des niveaux de congestion différenciés mais ce papier a montré que la congestion elle-même tendait à façonner les territoires. Par conséquent, *la ville est bien un système dynamique qui s'adapte en permanence aux interactions de ses occupants et non pas un système statique qui conduit les pouvoirs publics à formuler des politiques de déplacements indépendamment des politiques d'aménagement* (Wiel, 2002).

BIBLIOGRAPHIE

- Anas A. & Kim I. (1996). General Models of Polycentric Urban Land Use with Endogeneous Congestion and Job Agglomeration, *Journal of Urban Economics*, 40: 232-256.
- Anas, A., Arnott, R. J., & Small, K. A. (2000). The Panexponential Monocentric Model, *Journal of Urban Economics*, 47: 165-179.
- Anas, A., Arnott, R., & Small, K. A. (1998). Urban Spatial Structure, *Journal of Economic Literature*, 36: 1426-1464.
- Brueckner, J. K., Thisse, J. F., & Zenou, Y. (1999). Why Is Central Paris Rich and Downtown Detroit Poor? An Amenity-Based Theory, *European Economic Review*, 43: 91-107.
- Cavallès, J., Peeters, D., Sékeris, E. & Thisse, J. (2003). La ville périurbaine, *Revue économique*, 54(1): 5-23.
- Cervero R., & Wu K. L. (1997). Polycentrism, Commuting and Residential Location in the San Francisco Bay Area, *Environment and Planning A*, 29: 865-886.
- CITEPA, <https://www.citepa.org/fr/>
- Coulombel, N., & De Palma, A. (2014). Variability of Travel Time, Congestion, and the Cost of Travel, *Mathematical Population Studies*, 21(4): 220-242.

- Crane, R., & Chatman, D. G. (2003). *Traffic and sprawl: Evidence from US Commuting from 1985-1997*. Vol. 6. University of Southern California.
- Crozet, Y. (2016). Hyper-mobilité et politiques publiques : changer d'époque? *Economica*, Paris.
- Derycke, P.H. (1997). Le péage urbain, *L'espace géographique*, 27(3): 288.
- Deymier, G. et al., (2014). « Les Cahiers territoriaux de la mobilité », 6 rapports d'études pour le Conseil Général de la Gironde, ADERA
- Donzelot, J. (2004). La ville à trois vitesses : relégation, périurbanisation, gentrification, *Esprit*, 3-4: 14-39.
- Downs, A. (2004). "Still Stuck in Traffic: Coping with Peak-Hour Traffic Congestion" Washington DC, Brookings Institution Press, 455.
- Dupuy, G. (2002). « Cities and automobile dependence » revisité : les contrariétés de la densité, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* 2002/1 (février) : 141-156.
- Dupuy, G., (2011). Fracture et dépendance, l'enfer des réseaux ?, *Revue Flux*, 2011/1(83): 6-23.
- Engelfriet, L., & Koomen, E. (2017). The Impact of Urban Form on Commuting in Large Chinese Cities, *Transportation*, 1-27.
- Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-style Sprawl Desirable?, *Journal of the American Planning Association*, 63(1): 107-126.
- Ewing, R., Pendall, R., & Chen, D. (2003). Measuring Sprawl and Its Transportation Impacts, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1831(1): 175-183.
- Ewing, R., Tian, G., & Lyons, T. (2018). Does Compact Development Increase or Reduce Traffic Congestion?, *Cities*, 72: 94-101.
- Giuliano G., & Small K. (1993). Is The Journey to Work Explained by Urban Structure?, *Urban Studies*, 30-9: 1485-1500.
- Glaeser, E. L., Kolko, J., & Saiz, A. (2001). Consumer City, *Journal of Economic Geography*, 1(1): 27-50.
- Gordon P., Kumar A. & Richardson H. W. (1989). Congestion, Changing Metropolitan Structure, and City Size in The United States, *International Regional Science Review*, 12 1: 45-56.
- Gordon, P., & Lee, B. (2013). "Spatial Structure and Travel-Trends in Commuting and Noncommuting Travels in US Metropolitan Areas." In R. Hickman, D. Bonilla, M. Givoni, & D. Banister (Eds.). *The International Handbook on Transport and Development*.
- Gordon, P., & Richardson, H. (1997). Are compact cities a desirable planning goal?, *Journal of the American Planning Association*, 63: 95-106.
- INSEE Flash (2014). « Grands pôles urbains aquitains, de fortes disparités de revenus », N°4, novembre 2014.
- INSEE Première (2011). « Le nouveau zonage en aires urbaines de 2010 », N°1374, octobre 2011.
- Joly, I. (2006). Test of the Daily-travel-time Stability Using a Duration Model, *International Journal of Transport Economics*, 33(3): 369-400.
- IPCC (2018) « Rapport sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C ». Rapport du GIEC, octobre 2018.
- Joly, I. (2011). Symposium on Travel Time Use, Value and Experience. Centre for Transport & Society, Bristol
- Joly, I. (2013). Budgets-Temps de Transport, Workshop Transport, Statistique, Activités, du projet Motus (LJK)
- Kahn, M. E. (2007). The quality of life in sprawled versus compact cities. Transport, urban form and economic growth. OECD Publishing.

- Le Nechet, F., Nessi, H., & Aguilera, H. (2016). La mobilité des ménages périurbains au risque des crises économiques et environnementales, *Géographie, Économie, Société*, 18(1): 113-139.
- Lesteven, G. (2012). *Les stratégies d'adaptation à la congestion automobile dans les grandes métropoles. Analyse à partir des cas de Paris, São Paulo et Mumbai*, thèse, 436 p.
- Modarres, A. (2011). Polycentricity, Commuting Pattern, Urban Form: The Case of Southern California, *International Journal of Urban and Regional Research*, 35(6): 1193–1211.
- Mogridge, M. (1990). *Travel in towns: jam yesterday, jam today and jam tomorrow?* London, Macmillan, 308 p.
- Nicolas, J. P., Vanco, F., & Verry, D. (2012). Mobilité quotidienne et vulnérabilité des ménages, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, 1: 19-44.
- ONU, <https://www.un.org/fr/>
- Orfeuill, J.P., Massot, M.-H., & Korsu, E. (2012). *La ville cohérente, penser autrement la proximité*, La documentation française, 168 p.
- Orfeuill, J.P. & Ripoll, F. (2015). *Accès et mobilités : les nouvelles inégalités*. Infolio éditions, 2015.
- Pigou, C. (1912). *Wealth and Welfare*. ed. Mc Millan and co. 542 p.
- Pouyanne G., Dantas M., & Gaschet F. (2016). The Effect of Current and Future Surrounding Land Use on Housing Prices: a Spatial Econometric Approach, *Canadian Journal of Regional Science / Revue canadienne des sciences regionales*, 39(1/3): 39-49.
- Robitaille, M., & N Guyen, T. (2003). Évaluation de la congestion, de la théorie à la pratique, réseau routier de l'agglomération de Montréal, congrès annuel de 2003 de l'Association des transports du Canada à St. John's (Terre-Neuve et Labrador)
- Sarzynski, A., Wolman, H. L., Galster, G., & Hanson, R. (2006). Testing the Conventional Wisdom about Land Use and Traffic Congestion: The More We Sprawl, the Less We Move?, *Urban Studies*, 43(3): 601–626.
- Saujot, M. (2012). La mobilité, l'autre vulnérabilité énergétique, *Policy brief*, Fabrique urbaine, n° 5, Iddri, 12 mars 2012.
- Schwanen, T., Dieleman, F. M., & Dijst, M. (2003). Car Use in Netherlands Daily Urban Systems: Does Polycentrism Result in Lower Commute Times?, *Urban Geography*, 24(5), 410–430.
- Sun, B., He, Z., Zhang, T., & Wang, R. (2016). Urban Spatial Structure and Commute Duration: An Empirical Study of China, *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(7): 638–644.
- Tu, G., Abildtrup, J., & Garcia, S. (2016). Preferences for Urban Green Spaces and Peri-Urban Forests: An Analysis of Stated Residential Choices, *Landscape and Urban Planning*, 148: 120-131.
- Veneri, P. (2010). Urban Polycentricity and the Costs of Commuting: Evidence from Italian Metropolitan Areas, *Growth and Change*, 41(3): 403–429.
- White M.-J. (1990). Commuting and Congestion: a Simulation Model of a Decentralized Area, *American Real Estate and Urban Economics Association Journal*, 18: 335-68.
- Zahavi, Y., & Talvitie, A. (1980). Regularities in Travel Time and Money Expenditures, *Transportation Research Record* 750: 13-19.
- Zahavi, Y., & Ryan, J. (1980). Stability of Travel Components Over Time, *Transportation Research Record*, 750: 19-26.