



Association de Science Régionale
De Langue Française

XLV colloque de l'ASRDLF
Rimouski
25-27 août 2008

**TERRITOIRES ET ACTION PUBLIQUE TERRITORIALE :
NOUVELLES RESSOURCES POUR LE DEVELOPPEMENT REGIONAL**

**.... IMPACTS D'UNE INFRASTRUCTURE AUTOROUTIÈRE SUR
UN RÉSEAU DE VILLES D'UNE MÉTROPOLE**

LE CONTOURNEMENT ROUTIER DE NICE

Fabrice DECOUPIGNY
Université de Nice-Sophia Antipolis
UMR 6012 ESPACE
fabrice.decoupig@unice.fr

Résumé : A partir d'un exemple d'un projet d'aménagement qu'est le contournement routier de Nice, nous développons une méthode d'analyse spatiale qui utilise des données observées (bases de données d'occupation du sol) et simulées par un modèle afin d'évaluer sur un réseau de villes d'une métropole les impacts d'une infrastructure routière. L'objectif du travail est d'évaluer les risques de pressions urbaines et d'étalement urbain afin de définir les espaces vulnérables.

Mots clés : modélisation, évaluation, contournement routier, impacts, étalement urbain

Abstract : From an example of bypass highway project (Nice), we will develop a method of space analysis which use data based observed and simulated data by a model in order to evaluate the impacts on a cities network. The goal of this paper is to evaluate the risks of urban pressures and urban sprawl and to define vulnerable spaces in the metropolis.

Key-words : Modelling, Evaluation, Highway Bypass, Impacts, Urban sprawl

Classification :

Introduction

Durant l'hiver 2005/2006, un débat public sur un projet de contournement routier de Nice s'est tenu et avait pour objectif de discuter de l'opportunité de la création d'une autoroute qui doublerait l'actuelle autoroute A8 sur la portion urbaine qui traverse la métropole azurée d'Antibes à Nice¹. Au-delà de l'aspect polémique de ce type d'aménagement, nous nous focaliserons sur une problématique méthodologique de l'utilisation de données observées et simulées dans une évaluation d'un équipement autoroutier en ayant une approche opérationnelle. La vitesse faisant le trafic et l'offre suscitant la demande (Wiel 2005), ce type d'équipement s'accompagne d'une hausse des flux routiers et d'une augmentation de l'attractivité de certains territoires qui vont être soumis à des pressions plus ou moins fortes en fonction des caractéristiques des espaces traversés et desservis (Bavoux et Al 2005). Dans ces conditions, la mise en place d'un outil d'aide à la décision se révèle pertinente en aménagement du territoire pour appréhender de manière prospective l'effet d'une telle infrastructure sur un territoire : peut-on évaluer les impacts potentiels d'une telle infrastructure sur un réseau de villes d'une métropole, et plus particulièrement existe-t-il des risques de pressions urbaines et d'étalement urbain ? Si oui, quels sont les espaces vulnérables et sous quelles conditions ? Nous entendons par espaces vulnérables, des territoires qui vont être plus ou moins sensibles face à des risques de pressions urbaines (étalement urbain, mitage pavillonnaire).

Pour cela nous utiliserons un modèle de simulation de localisation résidentielle basé sur des variables de déplacements routiers qui va nous donner une attractivité pour chaque commune de la métropole. Dans un second temps, nous croiserons les données simulées avec des données d'occupation des sols (statut réglementaire, tailles des zones) obtenues auprès des organismes régionaux qui nous mettent à disposition des données géoréférencées. De cette manière, il nous sera alors possible d'analyser les impacts engendrés par la nouvelle infrastructure routière sur l'organisation territoriale de la métropole azurée.

Outre le fait que l'on peut utiliser un modèle de simulation comme un outil d'aide à la décision en aménagement du territoire, l'objectif du travail est aussi de montrer qu'il s'intègre pleinement dans une problématique d'ingénierie territoriale visant à évaluer les opportunités et les menaces d'un équipement autoroutier afin d'évaluer la vulnérabilité d'un territoire face aux pressions urbaines (étalement urbain) que pourraient engendrer un changement du réseau routier sur une métropole.

1. Impacts du projet de contournement sur l'attractivité des communes

Afin de rendre l'analyse d'une infrastructure routière prospective, nous allons considérer que celle-ci peut être à l'origine de changements de comportements de mobilités (Wiel 1999, Kaufman 2000). En effet, nous postulons qu'un changement du graphe routier est susceptible de changer les accessibilités routières de tous points à tous points (Chapelon 1998). Dans ces conditions, tout changement d'accessibilité peut alors entraîner des modifications d'attractivité car les déplacements peuvent s'en trouver modifiés puisque celles-ci sont liées au temps de parcours (Baptiste 2003). Dès lors si des ménages sont désireux de choisir une localisation

¹ Le dossier du projet est disponible sur le site de la Commission Particulière du Débat Public du contournement routier de Nice : www.debatpublic-pcrnice.org

optimale sur une métropole constituée en réseau de villes, la construction d'une autoroute de contournement peut induire des impacts sur la localisation de la construction de nouveaux logements.

Le projet de contournement possède trois scénarios. Une solution courte, longue et un aménagement sur place. Seules les deux premières seront analysées, nous considérons que l'aménagement sur place n'affecte en rien la topologie du réseau.

Le travail consiste, dans une première étape, à affecter, pour chaque commune de notre espace, une attractivité. Cette opération va nous permettre de donner une valeur quantitative à chaque commune qui va traduire son attractivité dans le réseau métropolitain et la capacité que la commune a à attirer la construction de nouveaux logements, en d'autres termes à accueillir de la croissance urbaine. Dans un second temps, on comparera l'effet de l'infrastructure autoroutière sur les deux scénarios.



Figure 1 : Les trois solutions du projet de contournement routier de Nice soumis au débat public en novembre 2005 (source : DDE 06, 2005).

1.1. Le calcul de l'attractivité communale

L'attractivité est obtenue à partir d'un modèle de simulation de localisation résidentielle². Le modèle qui va donner les attractivités considère que le choix de la localisation géographique d'un ménage dans une métropole va être soumis à trois contraintes de déplacements : l'accessibilité au lieu de travail, l'accessibilité au centre ville où se localisent les services rares et les loisirs de types urbains et l'accessibilité aux espaces naturels où se localisent les activités de loisirs "verts". Les ménages vont adapter leur stratégie de localisation résidentielle en fonction du potentiel de la ville à proposer une offre territoriale dans laquelle les individus vont pouvoir satisfaire différentes modalités qui correspondent à des choix de vie.

² L'outil présenté ci-dessous a déjà fait l'œuvre d'une communication : Decoupigny F., Impacts potentiels de la métropolisation des espaces naturels sur un réseau de villes, Revue d'Economie Régionale et Urbaine, 2007, n°4, pp589-607.

Pour cela nous allons utiliser un modèle gravitaire de simulation sur un graphe (modèle FRED)³. L'élaboration du modèle a été conçue à l'origine pour modéliser les probabilités de déplacements sur un réseau (Decoupigny 2000). L'objectif du modèle est d'expliquer la localisation résidentielle des ménages sous contraintes de déplacements et de définir des indicateurs métropolitains de localisation résidentielle.

1.1.1. Fondements théoriques du Modèle FRED

L'accessibilité et déplacement

Les contraintes de déplacements sont traduites sous forme d'accessibilité. Elle s'exprime sous forme d'une fonction de la mesure de la distance (Huriet, Perreur 1995) et peut être assimilée à la facilité qu'un objet ou qu'une information possède pour aller d'un lieu (respectivement de tous les lieux), à un autre (respectivement à tous les autres). C'est pour cela que l'on parle d'accessibilité simple et respectivement généralisée.

L'accessibilité simple permet de savoir si un lieu est accessible ou pas à partir d'un autre lieu. Cette accessibilité est une fonction de la distance : $A_{ij} = f(d(i,j))$. L'accessibilité généralisée, contrairement à l'accessibilité simple, consiste à mesurer un indicateur qui détermine l'accessibilité d'un point i de l'espace par rapport à un ensemble de points choisis j . Cette accessibilité généralisée d'un lieu peut se calculer de plusieurs façons mais la plus courante consiste à calculer l'ensemble des accessibilités simples de tous points à tous points et de la relativiser à tous les trajets d'un site à tout autre.

$$A_i = \sum_j d_{ij} / \sum_j d_{ij}$$

De cette façon, l'accessibilité généralisée d'un lieu traduit quantitativement sa position plus ou moins centrale ou enclavée dans l'espace. Plus la valeur A_i est faible, plus le site est isolé, plus cette valeur est élevée plus le lieu possède un caractère de "centralité", ou que le lieu i possède une meilleure desserte. Quelle soit simple ou généralisée, l'unité choisie peut être un coût, une distance ou un temps. Un certain nombre de travaux concernant la modélisation des systèmes de transports sur graphe utilisent aussi ce concept d'accessibilité pour simuler des processus interactions sur les réseaux, citons les modèles élaborés du type Map-NOD, Res-Dynam, D-Locat⁴.

Dans la construction de notre modèle, le déplacement est traduit comme étant une capacité d'atteindre une destination à partir d'un point origine en un temps déterminé. Le temps de déplacement est borné, c'est-à-dire que l'on fixe un seuil limite. Le principe du calcul est de déterminer le temps maximum de déplacements et le poids de ce dernier. Ces deux grandeurs sont déterminées par ajustement en calibrant les indicateurs du modèle.

Lorsque cette accessibilité est combinée avec une fonction gravitaire de type potentiel, il devient alors possible de traduire des capacités d'échanges d'un point à un autre ou à un ensemble de point et mettre ainsi en évidence des processus interactions spatiales (Huff 1962, Fotheringham 1981 et 1989, Pumain St Julien 1999).

L'attractivité des lieux

³ Modèle FRED (Fréquentation et Déplacement) : modèle de simulation de déplacements sur graphe qui va donner des probabilités de déplacements d'un point origine vers un point de destination en fonction des attractivités des points destination. Conception Fabrice Decoupigny – Université de Nice.

⁴ Modèles décrits dans l'ouvrage : *Graphes et réseaux, modélisation multiniveau*, ouvrage collectif sous la direction de Philippe Mathis, Traité IGAT, ed. Hermes, 2003.

Un autre concept peut être associé à l'accessibilité : une mesure de l'offre d'opportunité (Koenig 1974, 1980). En effet un réseau de transport, et en particulier un réseau routier, permet d'atteindre un certain nombre de lieux et ne rend plus obligatoire, à proximité immédiate des logements, l'existence de certains services. Les accessibilités peuvent alors traduire des opportunités offertes pour un ménage de satisfaire des utilités qui ne se localisent pas sur le lieu même de l'habitat. Mais dans ces conditions, il devient alors important de prendre en compte un voisinage qui puisse offrir les services n'existant pas sur place. Il est donc nécessaire, pour un ménage, de définir les opportunités qui s'offrent à lui lorsqu'il se localise à tel ou tel endroit.

L'attraction du lieu est une fonction qui associe deux variables, la quantité d'information contenue par le lieu et l'influence du voisinage, c'est-à-dire l'apport d'information supplémentaire contenue dans les lieux à proximité en fonction de la distance qui les sépare. Ces variables peuvent être définies par divers paramètres quantitatifs que l'on utilise généralement en analyse spatiale: nombre d'habitants, d'actifs, d'emplois, d'entreprises, de logements, surfaces...

Si les lieux peuvent apparaître concurrents et en compétition pour attirer, ils bénéficient aussi de l'attractivité de l'offre existante à proximité. On prend ici l'hypothèse qu'un lieu plus ou moins isolé sera plus ou moins attractif. Il devient alors évident que le voisinage sera lié à la capacité de se rendre sur les lieux voisins, par conséquent au déplacement et donc à l'accessibilité que nous avons définie précédemment. En effet on considère que dans un réseau de ville d'un ensemble métropolitain, les villes ne sont pas en concurrence stricte, mais que ce réseau constitue une offre globale de localisation sur laquelle des individus auront à choisir une localisation en tenant compte de ce qu'offre aussi la ville ou les villes voisines.

La combinaison dans une fonction des ces deux variables - accessibilité et masse - va définir les attractivités que les objets sont susceptibles de produire sur un territoire. C'est-à-dire que l'attractivité est une fonction des deux variables. Sa formulation se construit sur la base d'une formalisation du potentiel par analogie avec le modèle physique qui signifie qu'une force potentielle d'attraction qui lie deux objets diminue inversement proportionnel à la distance qui les sépare.

La formulation du modèle de potentiel qui va servir de base aux calculs d'interactions spatiales des lieux est la suivante (Pini 1992) :

$$iPo_j = k \cdot \frac{E_j}{d_{ij}} \text{ où } kE_j d_{ij}^{-1} \text{ qui est une formulation de } kE_j^\alpha d_{ij}^{-\beta} \text{ si } \alpha=1 \text{ et } \beta=1$$

iPo_j : potentiel du lieu j sur le lieu i (signifiant en physique, l'énergie provoquée par la masse j sur l'unité de masse i) ; E_j : masse de j (le plus souvent la population, que l'auteur nomme l'émissivité) ; d_{ij} : distance entre i et j (pour $i=j$, la distance peut être prise égale à un, mais elle peut aussi faire l'objet d'ajustements ou de pondérations obtenus empiriquement) ; k : constante.

L'utilisation de ces types de modèles a servi généralement à calculer les interactions qu'avaient les pôles urbains entre eux afin de déterminer leur zone d'attraction, on peut citer les modèles tirés de la généralisation de la loi de Reilly.

Le principe de modélisation que nous utiliserons pour FRED consiste à calculer l'influence qu'exerce des nœuds voisins j sur le nœud i. C'est-à-dire que l'on calcule le potentiel des sites j voisins susceptibles de rendre le site i plus attractif en fonction de sa position dans le réseau. On reprend ici l'hypothèse qu'un site plus ou moins isolé sera plus ou moins attractif.

En résumé, un site possédera un potentiel attractif qui dépendra de la valeur attractive de son offre endogène (population, emploi, nombre d'entreprises, etc.) et des attractions relatives des sites voisins. De cette manière, il est alors possible de définir des territoires de déplacements et des espaces multiples d'interactions.

Le graphe routier

L'espace est réduit à un graphe routier. Il est composé de nœuds qui représentent les communes sur lesquelles nous affecterons des masses et les arcs sur lesquels nous affecterons des temps de parcours (en minutes).

Nous allons définir notre espace de déplacement sur lequel s'inscrit notre réseau d'accueil comme un graphe qui constitue la base de la modélisation de l'élément réseau. Un graphe est défini (Berge 1983) comme un ensemble de points reliés deux à deux par des flèches, appelés également sommets et arcs.

Les travaux en matière de modélisation des réseaux de transports (Chapelon 1997) ont bien montré que la spatialisation du graphe permettait d'obtenir une représentation de l'espace discrète et "d'analyser la structure réticulaire qui va contraindre le fonctionnement des systèmes de transport"⁵. L'utilisation de la dimension géographique de la théorie des graphes nous permet d'associer des coordonnées géographiques à chaque sommet et d'adapter ainsi les propriétés des graphes à un réseau. Tous les travaux réalisés au Laboratoire du CESA⁶ soulignent l'intérêt de la puissance représentative de la théorie des graphes pour analyser les processus associés aux réseaux. Cette spatialisation de la réalisation du graphe permet d'avoir une unique localisation des sommets pour un graphe donné dans la mesure où la relation entre sommets et liens est biunivoque et que les rapports de distances ou de métriques entre sommets et liens sont constants pour une même réalisation.

Le temps de parcours d'un arc est donné par la vitesse moyenne du mode de la route et par sa distance. On obtient donc un temps moyen de parcours pour chaque arc orienté.

<i>Mode route et vitesse réglementaire</i>	<i>Vitesse moyenne en km/h</i>
<i>Autoroute (130)</i>	110
<i>Voie expresse (110)</i>	90
<i>Route principale (90) 2 voies larges (7 à 9m)</i>	70
<i>Route secondaire large (90) 2 voies étroites (5 à 7m)</i>	60
<i>Route secondaire (90), 1 voie (< 5m)</i>	50
<i>Voie rapide, rocade (70)</i>	60
<i>Boulevard urbain (50) chaussées séparées</i>	40
<i>Voie urbaine (50)</i>	30
<i>Route de montagne</i>	30
<i>Petites routes carrossables de montagne</i>	15

Tableau 1: Vitesses moyennes des arcs en fonction des types de routes

Pour effectuer des calculs d'accessibilité et prendre en compte les trajets entre les différents nœuds, il est nécessaire de connaître les temps de parcours. Nous avons utilisé l'algorithme de Floyd⁷ qui nous a donné l'ensemble des chemins minimaux (en minutes) des trajets de tout sommet à tout sommet sous forme d'une matrice origine - destination. Toutes les

⁵ Cf. Chapelon 1997, p. 161

⁶ Les travaux du Centre d'Etudes Supérieures d'Aménagement de l'université de Tours : *Graphes et réseaux, modélisation multiniveau*, ouvrage collectif sous la direction de Philippe Mathis, Traité IGAT, ed. Hermes, 2003.

⁷ Voir une description complète de cet algorithme dans Bartnik G., Minoux M., "Graphes, algorithmes, logiciels." Paris : Bordas, 1986, p. 118-146.

accessibilités correspondent à des temps de parcours en véhicule particulier. Les temps de parcours en transport en commun ne sont pas pris en compte.

1.1.2. Formalisation de FRED :

Etape 1 : on calcule pour chaque commune l'offre territoriale V_i qui représente l'offre territoriale de la commune⁸. Cette fonction comporte les trois variables que les ménages vont relativiser lorsqu'ils vont devoir faire des choix pour se localiser dans le réseau métropolitain.

$$V_i = VE_i^\alpha \times VU_i^\beta \times VN_i^\gamma, \text{ le poids du site } i$$

avec VU la surface de la zone urbaine (variable standardisée) ; VN la surface des zones naturelles constructibles (variable standardisée) ; VE le nombre d'emplois (variable standardisée) ;

Etape 2 : pour chaque commune, on calcule $A_{(i,j)}$ l'interaction du voisin j sur i sous contrainte d'un temps d'accès maximum, ce temps est le plus court chemin sur le graphe entre i et j⁹.

Donc pour une commune i, on considère que le voisin j est susceptible d'apporter un gain d'offre territoriale pondéré par la distance $ta_{(i,j)}$, qui sépare i et j. On reprend, ici l'hypothèse que dans un réseau de villes, les villes s'échangent de l'attractivité sous forme d'un potentiel.

$$A_{(i,j)} = \left(\frac{V_i \times V_j}{(ta_{(i,j)})^\Omega} \right) \text{ pour tout } i \neq j \text{ et } ta_{(i,j)} < ta_{max} \text{ et } 0 < ta_{(i,j)}$$

$$\text{Avec } V_i = VE_i^\alpha \times VU_i^\beta \times VN_i^\gamma, \text{ le poids du site } j$$

Donc pour chaque ville du réseau métropolitain, il existe une offre territoriale communale qui sera en interaction avec ses voisines qui lui apportent une attractivité supplémentaire. Cette interaction est pondérée par la distance ($ta_{(i,j)}$) entre les deux sites.

Pour chaque commune i nous calculons son attractivité $AA(i)$ dans le réseau qui est le produit entre l'offre territoriale de la commune V_i et la somme des interactions avec les sites voisins j situés en dessous d'un seuil de déplacement ta_{max} temps limite au-delà duquel la probabilité de déplacement est égale à 0. On considère, de cette manière, qu'il existe une limite au voisinage. Lors du calibrage du modèle cette valeur nous donnera une indication sur l'étendue territoriale de la métropole.

$$AA_{(i)} = V_i \times \sum_{j=1}^n A_{(i,j)} \text{ soit } AA_{(i)} = V_i^2 \times \sum_{j=1}^n \left(\frac{VE_j^\alpha \times VU_j^\beta \times VN_j^\gamma}{(ta_{(i,j)})^\Omega} \right)$$

$$\text{Avec } V_j = VE_j^\alpha \times VU_j^\beta \times VN_j^\gamma, \text{ le poids du site } j$$

$$\text{et pour tout } i \text{ différent de } j \text{ et } ta_{(i,j)} < ta_{max} \text{ et } 0 < ta_{(i,j)}$$

Le temps de déplacement $ta_{(i,j)}$ entre les sites voisins j et i est exprimé en minute, et n le nombre de sites j voisins de i si $ta_{(i,j)} < ta_{max}$

Simulations et résultats

⁸ Modèle décrit dans Decoupigny F., Impacts potentiels de la métropolisation des espaces naturels sur un réseau de villes, Revue d'Economie Régionale et Urbaine, 2007, n°4, pp589-607.

⁹ Temps de parcours obtenus avec l'algorithme de Floyd et enregistrés dans une matrice origine - destination.

Pour chaque commune, on affecte à VU la taille en hectare de la zone urbanisée construite de la commune (hors habitat diffus), à VN les zones naturelles constructibles et à VE le nombre d'emplois communaux (INSEE). Ces données sont extraites d'une base de données mise à disposition par le CRIGE¹⁰. La taille de la zone urbanisée, c'est la zone d'habitation à laquelle nous avons soustrait la surface de la zone d'habitat mité¹¹, quant aux zones naturelles constructibles, il s'agit des surfaces réglementaires qui permettent de construire en milieu naturel. Ces zones possèdent déjà une part de leur espace colonisé par un habitat dispersé. Ces secteurs ne prennent pas en compte des zones d'habitat mitées qui connaissent des limitations de constructibilité.

Le modèle donne, pour chaque commune, une grandeur AA(i) que l'on va comparer (par une analyse régressive) à deux bases de données que nous possédons sur le territoire : le solde migratoire et le nombre de logements construits entre 1990 et 1999. Les deux bases de données sont issues du Recensement Général de la Population de 1999 de l'INSEE. Le calibrage nous permet ainsi d'ajuster les paramètres (α , β , γ , Ω et tamax) du modèle et obtenir ainsi les indicateurs métropolitains de localisation résidentielle.

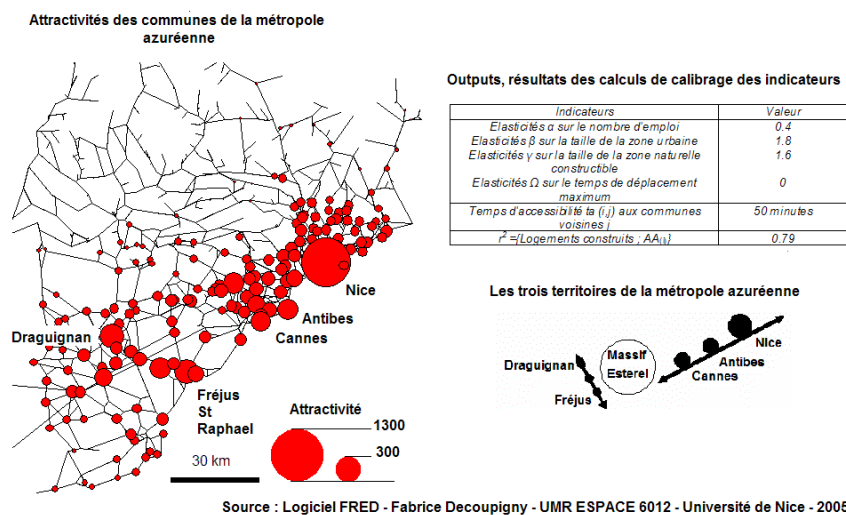


Figure 2 : Résultats du modèle de simulation de localisation résidentielle sur la métropole azurée

Le modèle nous fournit ainsi les indicateurs de localisation résidentielle (cf. tableau figure 2) pour la situation actuelle. Les résultats sur Nice ont mis en évidence que la métropole s'organise sur un réseau structuré autour de trois territoires distincts : la conurbation linéaire Cannes / Nice qui, par ses contraintes topographiques, possède peu de réserves foncières, un réseau naissant de villes secondaires sur l'axe Draguignan / Fréjus qui représente un pôle de délestage de la croissance urbaine de la métropole azurée et un espace naturel (massif de l'Esterel) séparant les deux espaces urbains de la métropole. Un autre résultat important réside dans le fait que les attractivités communales sont fortement dépendantes des attractivités des communes voisines. Ce résultat traduit une caractéristique importante de la métropole en

¹⁰ Centre Régional de l'Information Géographique de la Région Provence Alpes Cote d'Azur. Les données sont obtenues à partir des fichiers d'urbanisme réglementaire d'occupation du sol "POS généralisés" réalisés par report des zonages POS par généralisation et accrochage sur les éléments de la "BD Carto" par la DRE PACA. Fichiers réalisés en 2001 et mis à jour en juin 2004.

¹¹ Surface de la commune qui possède un habitat dispersé. Les données sont extraites des fichiers d'occupation du sol de CORINE Land Cover de 1988 réactualisés en 1999.

mettant en évidence un réseau dont les villes qui le constituent possèdent de fortes interactions entre elles. Dès lors, la construction d'une autoroute de contournement est susceptible de modifier les accessibilités et par conséquent d'affecter les attractivités communales

1.2. Analyse des impacts du contournement sur les attractivités communales

L'objet est d'analyser les zones de pressions potentielles que pourrait induire la construction d'une autoroute. Pour chaque commune nous allons calculer une attractivité que nous allons affecter sur chaque "nœud commune" du graphe. Les indicateurs choisis sont ceux qui ont été déduits du calibrage (tableau de la figure 2). La méthode d'évaluation consiste à comparer les attractivités des communes avant et après projet de contournement.

Nous avons procédé à deux calculs de simulations d'impacts. Le premier calcule l'impact de la "solution courte" du projet sur les attractivités communales et le second celui de la solution longue. Les résultats apparaissent sous forme de différences relatives (en % de l'attractivité "situation actuelle"). On obtient ainsi les gains ou pertes d'attractivités communales induits par les différents projets.

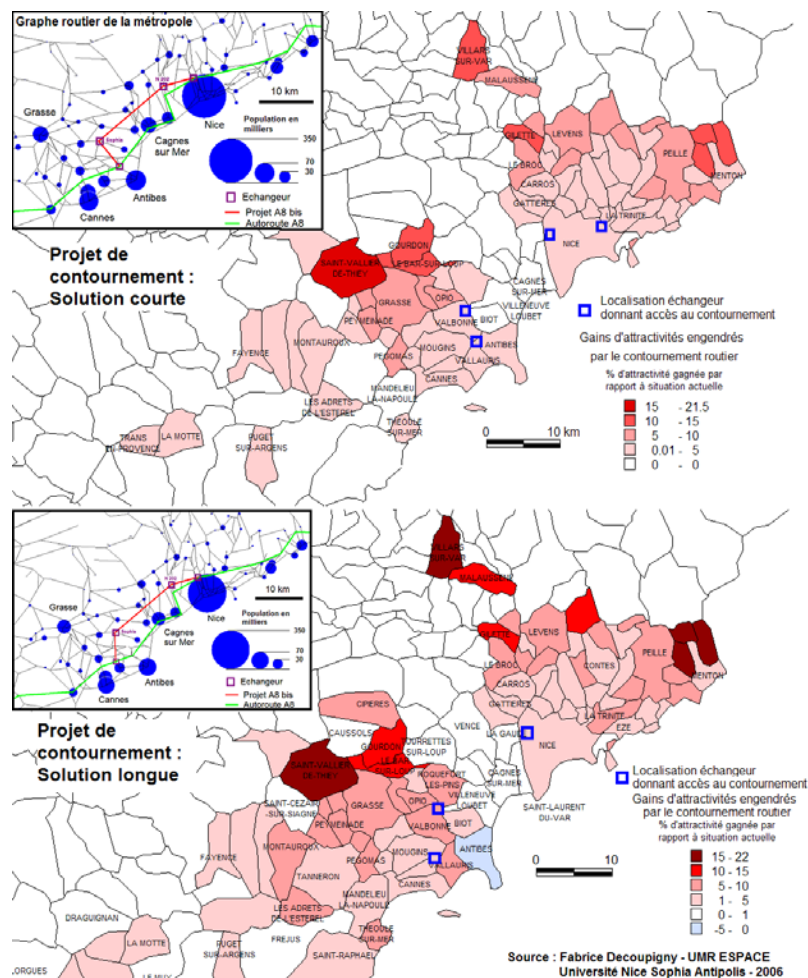


Figure 3 : Impacts du projet routier de Nice : gains d'attractivité par commune

La première observation que l'on peut faire montre que les gains et pertes ne se localisent que sur les parties est et ouest de la métropole quelque soit le projet. C'est un résultat intéressant car il met en évidence un effet tunnel. Cet effet se fait ressentir sur la partie médiane de la métropole (axe Vence – Cagnes sur mer). Nous avons des impacts spatialement différenciés

qui viennent renforcer l'attractivité des communes localisées aux extrémités. Ce résultat était prévisible car le doublement de l'autoroute ne change en rien la structure du réseau. Il permet aux communes du moyen pays de l'est et de l'ouest d'être plus accessibles entre elles. Dans ces conditions, le projet de contournement viendrait renforcer l'axe métropolitain en intensifiant les relations est / ouest. Pour la solution longue, le projet risque d'avoir des impacts plus importants sur la structure du réseau métropolitain car l'axe urbain de croissance Draguignan / Fréjus est susceptible d'être à terme un véritable espace de délestage de l'axe urbain Cannes / Nice.

Le diagnostic doit être complété par l'étude croisée de la proximité des espaces naturels par rapport aux zones urbanisées et des statuts réglementaires des sols. (POS, PLU). Cette analyse croisée va nous permettre de déterminer les communes les plus vulnérables en fonction du type d'occupation des sols. Nous allons analyser l'intégration des espaces naturels dans le système urbain de la métropole azurée en posant l'hypothèse qu'il y a imbrication des espaces naturels et urbains dans le réseau des villes métropolitaines. Nous supposons que la présence d'espaces naturels représente des réserves foncières potentielles sur lesquelles s'exercent les pressions urbaines. Il s'agit ici d'identifier la vulnérabilité des communes face aux risques d'étalement urbain que peuvent connaître les territoires par rapport aux deux projets autoroutiers. En effet il ne suffit pas que l'attractivité d'une commune change pour savoir si les pressions urbaines peuvent induire une hausse de l'étalement urbain. Une commune peu protégée, possédant d'importantes réserves foncières de type Zones Naturelles Constructibles sera plus vulnérable à un processus d'étalement urbain que sa voisine si cette dernière possède peu de zones constructibles.

2. Sensibilité des communes au projet autoroutier

Afin de définir des classes de territoires plus ou moins vulnérables aux pressions urbaines et en particulier à l'étalement urbain, nous utiliserons une Classification Ascendante hiérarchique (CAH).

L'objectif de cette analyse est de croiser sept variables qui sont toutes standardisées et les affectées sur chaque commune, les communes étant bien évidemment les individus dans notre CAH.

Nous avons sélectionné pour cela les trois variables qui ont été utilisées pour formaliser le modèle FRED (VU, VE, VN) ainsi que la variable simulée obtenue par FRED, les gains d'attractivité. Comme notre espace métropolitain possède de grandes surfaces d'espaces naturels, nous allons intégrer trois autres variables, la surface naturelle, la surface naturelle possédant une protection forte et les surfaces naturelles mitoyennes aux zones artificialisées. De cette manière, si la CAH nous donne des résultats de classes bien différenciées, cet apport d'information nous permettra de définir la vulnérabilité potentielle des communes face aux pressions urbaines que pourraient engendrer une offre routière sur le réseau. On présume, ici, que les surfaces naturelles sont potentiellement des réserves foncières qui peuvent accueillir de la croissance urbaine, il devient donc nécessaire de les intégrer dans notre analyse statistique :

- la surface naturelle dans chaque commune (en % de la surface totale de commune)
- la surface naturelle protégée dans chaque commune (en % de la surface totale de commune)
- la surface naturelle à proximité des surfaces artificialisées. Nous avons construit autour de chaque aire artificialisée un buffer (zone tampon) dans lequel nous avons calculé la surface d'espace naturel. Nous obtenons ainsi la part relative d'espaces naturels contenue dans la

surface de la zone tampon (en % de la surface de la zone tampon). Afin de relativiser les résultats, la taille du buffer varie en fonction de la taille de la surface artificialisée. Nous n'appliquons pas de buffer pour des surfaces inférieures à 10 hectares. Pour les surfaces comprises entre 10 et 20 ha, la taille du buffer est de 1 km de rayon, tandis que pour les surfaces supérieures à 20 ha le buffer possède un rayon de 2km.

-les trois variables de localisation de l'attractivité (tailles des zones urbaines, nombre d'emplois, taille des zones naturelles constructibles)

- la différence relative d'attractivité (différence d'attractivité avant et après projet)

Nous avons utilisés pour obtenir, les surfaces de sols artificialisés et les surfaces des milieux naturels, le fichier d'occupation du sol CORINE Land Cover (CLC), quant aux surfaces naturelles protégées, elles proviennent des fichiers des différents types d'espaces naturels digitalisés par la DIREN PACA¹².

Nous allons procéder à deux Classifications Hiérarchiques Ascendantes (CAH) afin d'affiner l'analyse des impacts du contournement sur le réseau de ville de la métropole dont l'objectif sera d'identifier les communes plus ou moins vulnérables aux pressions urbaines. La première traite du projet de contournement version courte et la seconde du projet version longue.

Le tableau des coefficients (tableau 2) de régression nous montre que les variables ne sont pas corrélées à l'exception de deux couples de variables : (Nombre d'emploi/ taille de la zone urbaine) et (% surface naturelle dans le buffer / % surface naturelle). Ceci est logique, plus la ville est importante, plus la probabilité de trouver des emplois est grande. Il en est de même avec le second couple. Plus les surfaces naturelles sont importantes plus les zones de contacts entre la ville et les espaces naturels sont fortes.

	% surface naturelle	% surface naturelle dans le buffer	% surface naturelle protégée	Zone urbanisée	Zone naturelle constructible	Nombre d'emploi	Gain d'attractivité
% surface naturelle	1.000						
% surface naturelle dans le buffer	-0.694	1.000					
% surface naturelle protégée	0.233	-0.369	1.000				
Zone urbanisée	-0.479	0.249	0.035	1.000			
Zones naturelles constructibles	-0.341	0.306	-0.066	0.461	1.000		
Nombre d'emploi	-0.398	0.187	-0.005	0.889	0.399	1.000	
Gains d'attractivité	0.078	0.095	-0.189	-0.096	-0.148	-0.046	1.000

Tableau 2: Coefficient de régression de Pearson entre les variables utilisées pour les deux CAH

Or les résultats (tableau 3), montre que si pour le couple (Nombre d'emploi/ taille de la zone urbaine), il y a bien redondance d'information dans les classes obtenues pour le scénario version courte (R= 0.98), il en est pas tout à fait de même pour le scénario version longue (R= 0.74). On peut donc en déduire que la CAH qui correspond au scénario version longue est moins sensible à la corrélation entre les deux variables. Quant au couple (% surface naturelle dans le buffer / % surface naturelle), on peut considérer qu'il existe une redondance d'information entre ces deux variables.

¹² Les données sont issues des inventaires réalisés par le Muséum National d'Histoire Naturelle. Les fichiers sont téléchargeables sur le site de la DIREN PACA.

Couple de variables	CAH version courte	CAH version longue
Nombre d'emploi et taille de la zone urbaine	0.98	0.74
% surface naturelle dans le buffer et % surface naturelle	0.75	0.77

Tableau 3 : coefficient R entre les moyennes des variables dans chacune des classes obtenues après CAH

Si nous décidons de supprimer une variable dans chaque couple, car on considère que l'autre variable contient l'information de la variable supprimée, cela nous engage à faire une analyse en perdant de l'information. Quant aux gains d'attractivité, cette dernière ne possède aucune corrélation avec les autres variables. Le modèle FRED utilisé se montre ainsi efficace et ne reproduit pas de redondance.

Nous obtenons ainsi six classes de territoires pour la CAH version courte et huit classes pour celle de la version longue. Les résultats montrent que les impacts du projet de contournement routier ne sont pas les mêmes en fonction du parti d'aménagement qui sera choisi

Moyenne de l'indicateur	Classes obtenues : CAH projet solution courte					
	1	2	3	4	5	6
% surface naturelle	92.82	49.72	81.35	83.45	89.52	73.72
% surface naturelle dans le buffer	28.09	94.85	77.89	85.65	34.80	76.76
% surface naturelle protégée	1.19	4.07	0.20	1.20	92.85	3.98
Gains d'attractivité (%)	0.11	1.21	7.08	0.37	0.51	0.46
Zones urbanisées (Ha)	37.9	326.5	52.5	55.8	111.4	143.5
zones naturelles constructibles en (Ha)	109.4	443.7	137.4	158.6	187.4	964.0
Nombre d'emplois	139	6483	397	354	1038	1896

Moyenne de l'indicateur	Classes obtenues : CAH projet solution longue							
	1	2	3	4	5	6	7	8
% surface naturelle	93.49	47.60	75.04	80.51	90.20	73.10	90.81	67.23
% surface naturelle dans le buffer	28.24	96.51	96.16	85.64	33.23	68.40	49.78	70.36
% surface naturelle protégée	1.25	1.76	0.74	0.11	92.87	7.23	0.03	36.53
Gains d'attractivité (%)	0.00	2.22	5.19	0.00	1.01	0.07	11.12	1.12
Zones urbanisées (Ha)	37.9	321.9	71.3	67.2	76.8	197.2	27.8	437.1
zones naturelles constructibles en (Ha)	103.8	479.7	238.7	295.3	147.0	1273	123.1	343.8
Nombre d'emplois	174	7019	592	398	608	2815	193	2857

Tableau 4 : Résultats des deux CAH : détails de la classification communale

Le projet version longue va induire deux classes supplémentaires. Ce résultat signifie que la solution deux (version longue) différencie plus l'espace métropolitain. Dans ces conditions, le contournement augmente la diversité territoriale en différenciant les impacts sur les communes de la métropole.

Nous pouvons constater qu'il existe une relation entre l'appartenance à une classe et sa localisation sur l'espace métropolitain azuréen. L'organisation de cette répartition apparaît radioconcentrique, et laisse supposer une sensibilité qui répond aussi à un phénomène centre / périphérie. C'est-à-dire, qu'il existe un réseau de villes au centre (Cannes / Nice) et des couronnes périphériques plus ou moins sensibles aux pressions urbaines que pourraient engendrer la mise en service d'un projet de contournement routier.

L'émergence d'une organisation radioconcentrique dans la répartition géographique des types communaux laisse supposer une structure spatiale qui nous permet de définir des secteurs à enjeux sur l'espace métropolitain, c'est en cela que cette analyse remplit un rôle d'outil d'aide à la décision.

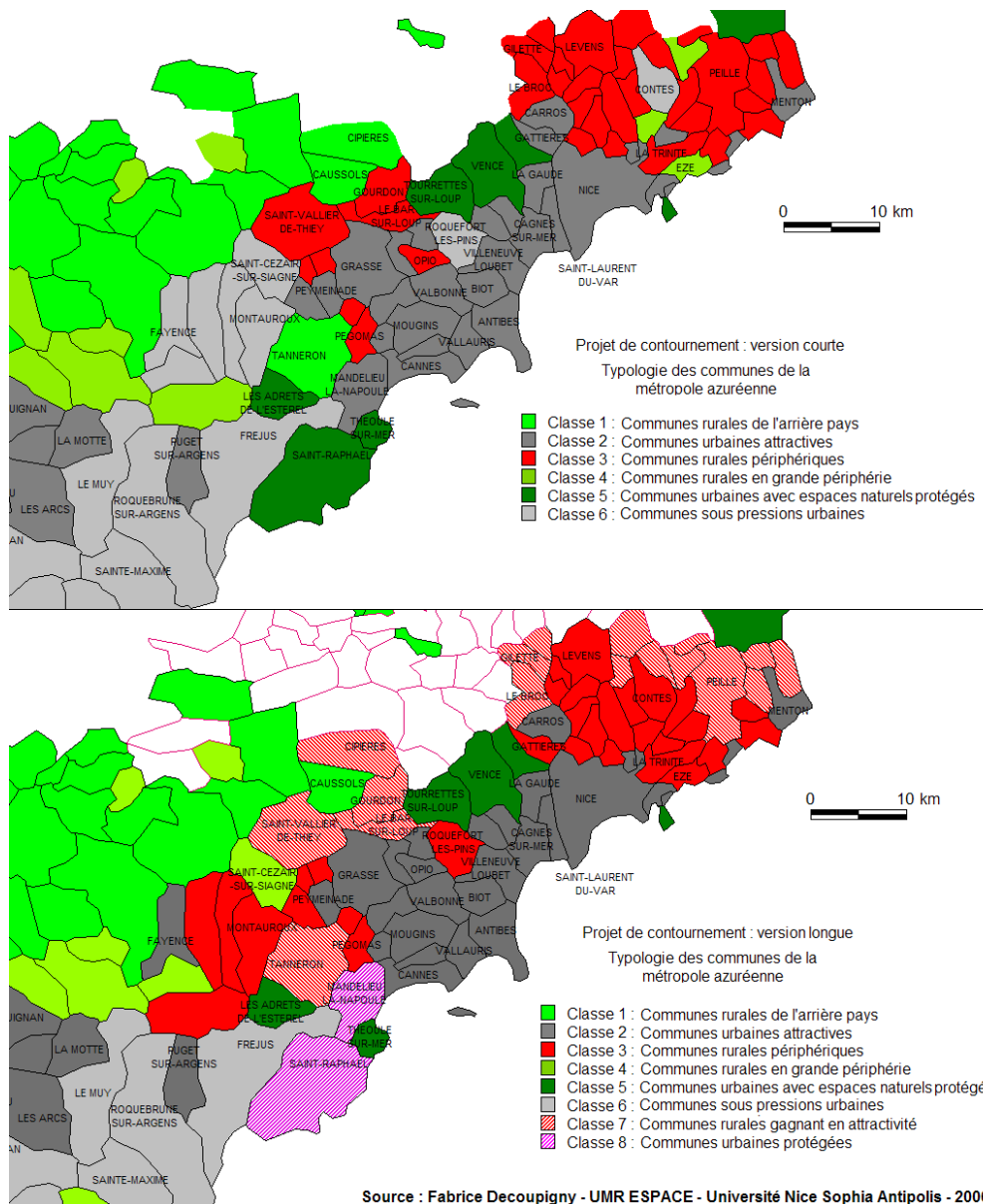


Figure 4 : Cartographie des résultats des deux CAH : typologie communale des territoires de la métropole azurienne.

Classes communes aux deux scénarios

Classe 1 : Communes rurales peu vulnérables dans l'arrière pays (couronne rurale) : Ces communes sont suffisamment éloignées pour ne pas subir d'impacts. Leur enclavement les protège de toute pression urbaine.

Classe 2 : Communes urbaines attractives. Ces communes représentent le cœur de la métropole et concentrent la presque totalité de la population et de l'activité économique. Ce secteur est vulnérable, car non seulement il possède une part importante des zones naturelles constructibles mais aussi des espaces naturels peu protégés. Avec ou sans projet de contournement, ce secteur de la métropole sera pratiquement toujours sous pression urbaine

de l'étalement urbain. La pression urbaine est ici engendrée par la présence de grands centres urbains (Nice, Cannes et Antibes).

Classe 3 : Communes rurales périphériques (première couronne). Ce sont des communes rurales, en périphérie de grands centres urbains, qui vont connaître un gain d'attractivité. Ces territoires apparaissent vulnérables car ils possèdent des surfaces naturelles importantes peu protégées qui en font des réserves foncières potentielles, c'est-à-dire des espaces qui peuvent être transformés en zones naturelles constructibles.

Classe 4 : Communes rurales en grande périphérie (seconde couronne). Ces territoires sont en voie de rurbanisation, c'est en cela qu'ils sont vulnérables bien qu'ils ne subissent pas un gain d'attractivité engendré par le projet.

Classe 5 : Communes urbaines dont les espaces naturels sont fortement protégés (première couronne). De tous les territoires, ceux-ci apparaissent les moins vulnérables car ils possèdent des espaces naturels fortement protégés bien que ces communes possèdent des Zones Naturelles Constructibles.

Classe 6 : Communes sous pression urbaine. Ces territoires appartiennent à l'axe de croissance Draguignan / Fréjus de la métropole. Si le projet de contournement ne semble pas avoir un impact sur ce secteur, les secteurs formés par cette classe sont déjà fortement vulnérables à l'étalement urbain. Les communes possèdent de vastes zones naturelles de construction qui en font un axe de développement par délestage de la métropole azurée.

Classes propres au scénario « version longue »

Les deux classes qui apparaissent se localisent en périphérie de la métropole. En effet, l'autoroute étant plus longue, elle différencie plus l'espace aux extrémités est et ouest de la métropole car elle va permettre à ces espaces d'augmenter leur accessibilité et par conséquent leur attractivité relative.

Classe 7 : Communes rurales périphériques gagnant en attractivité (première couronne). Ces communes possèdent de vastes espaces naturels non protégés et leur localisation, à proximité de communes qui connaissent de fortes pressions urbaines, les rend vulnérables. Leur gain d'attractivité dans le réseau les place dans une situation délicate puisqu'elles peuvent jouer le rôle de communes de délestage. Concernant le second scénario du projet (version longue), les communes de cette classe apparaissent fortement vulnérables, pourront-elles résister à terme à une hausse croissante de la pression urbaine en ne transformant pas leur espaces naturels en zones naturelles constructibles ?

Classe 8 : Communes urbaines possédant des espaces naturels fortement protégés (massif de l'Esterel). Ces communes (au nombre de deux ; Saint Raphael et Mandelieu) appartiennent au réseau de villes de la métropole. Si ces communes connaissent un gain d'attractivité, elles apparaissent peu vulnérables car une grande partie de leur espace naturel est protégée.

Conclusion

Les résultats obtenus nous permettent de compléter un diagnostic d'aménagement du territoire et de déterminer de manière prospective les opportunités et les menaces qu'un projet peut faire peser sur un territoire. En effet, il devient alors possible d'évaluer la vulnérabilité des secteurs aux pressions urbaines (étalement urbain) lorsqu'un projet d'une infrastructure autoroutière est projeté sur un réseau de villes. Le projet de contournement autoroutier de Nice ne vient pas bouleverser la structure métropolitaine, il ne fait que renforcer l'axe est / ouest existant. Les communes périphériques situées à l'est et à l'ouest de la métropole, dans le cas du doublement de l'autoroute, vont avoir tendance à être plus vulnérables face aux pressions urbaines car

elles possèdent peu voir pas de réglementations qui limitent la constructibilité. Dans l'état actuel de la réglementation, les communes périphériques semblent être soumises à une pression urbaine qui irait en augmentant dans le cas du projet de contournement autoroutier de Nice. Le doublement de l'actuelle autoroute viendrait alors rendre des territoires plus vulnérables aux pressions urbaines alors qu'ils étaient plus ou moins épargnés par leur faible attractivité.

Une dernière conclusion d'ordre méthodologique peut être faite. L'utilisation combinée de variables simulées à partir d'un modèle de simulation et de variables observées issues de bases de données sur l'occupation du sol nous ont permis non seulement d'évaluer les impacts d'une infrastructure autoroutière mais aussi d'émettre des hypothèses en matière de prospective territoriale. Le couplage d'un modèle de simulation avec une analyse statistique classique a permis d'intégrer dans une analyse spatiale une dimension prospective et de voir de quelle manière une variable simulée pouvait compléter et consolider un diagnostic territorial lors d'une évaluation d'une infrastructure autoroutière.

3. Bibliographie

Agence d'Urbanisme des Pays d'Aix, Direction Régionale de l'Équipement de la région PACA, La métropolisation dans l'espace méditerranéen français : vers un Observatoire Transrégional de la Métropolisation, novembre 2004

Bavoux J.J., Beaucire F., Chapelon L., Zembri P., Géographie des transports, Paris, Armand Colin, 2005.

Baptiste H., Modélisation de l'évolution d'un système de transport et impacts sur un système départemental de villes, in Graphes et réseaux, modélisation multinationale, ouvrage collectif sous la direction de Philippe Mathis, Traité IGAT, ed. Hermes, 2003, pp. 113-135.

Bartnik G., Minoux M., "Graphes, algorithmes, logiciels." Paris : Bordas, 1986.

Berge C., Graphes, Gauthier-Villars, Paris, 1983.

Chapelon L., Offre de transport et aménagement du territoire, évaluation spatio-temporelle des projets de modification de l'offre par modélisation multi-échelles des systèmes de transport, Thèse Aménagement de l'espace et urbanisme : Université de Tours (CESA), 1997.

Chapelon L., Evaluation des projets autoroutiers : vers une plus grande complémentarité des indicateurs d'accessibilité, Les Cahiers Scientifiques du Transport, n° 33. - p. 11-40, 1998.

Decoupigny F., Accès et diffusion des visiteurs sur les espaces naturels. Modélisation et simulations prospectives, Thèse de doctorat Aménagement de l'espace et urbanisme, Tours : Laboratoire du CESA, 2000. 401 f.

Decoupigny F., Impacts potentiels de la métropolisation des espaces naturels sur un réseau de villes, Revue d'Economie Régionale et Urbaine, 2007, n°4, pp589-607..

Ferrier J.P., 1999, Pour une théorie géographique de la métropolisation, in Les très grandes villes dans le monde. Etudes géographiques. Sous la dir. Paulet (J.P.), Paris Anthropos 1999.

Fotheringham S., Spatial structure and distance decay parameters, Association of American Geographers, Volume 71, 1981, pp425 – 436.

Fotheringham S, O'Keilly M.E., Spatial interaction models : formulations and applications, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1989.

Fusco G., Dynamiques territoriales et métropolisation dans le littoral de Provence Alpes Côtes d'Azur, Actes du XLI Colloque de l'ASRDLF, Dijon 5-7 septembre 2005.

L'Hostis A., Decoupigny Ch., Menerault Ph., Assessing Spatial Planning Policy with Accessibility Indicators: the case of Lille's Metropolis Scenario, in Transport Development and Innovation in an Evolving world, edited by M. Beuthe, V. Himanen, A. Reggiani, L. Zamparini, Springer, 2004.

Huff J.L., Détermination of intra-urban retail trade areas, Los Angeles, University of California, Real Estate Research Program, 1962.

- Huriot J.M., et Perreur J., "L'accessibilité", in Encyclopédie d'économie spatiale, pp 55-59, sous la dir. A. Bailly, R. Ferras, D. Pumain, Economica, Paris, 1995.
- Kaufmann V., Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : la question du report modal, Presses polytechniques et Universitaires Romandes, 2000.
- Koenig J.C., Théorie économique de l'accessibilité urbaine, Revue Economique, Vol XXV, n°2, 1974
- Koenig J.C., Indicators of urban accessibility : theory and application, Transportation 9, 1980.
- Mathis Ph., Introduction à une théorie unitaire des implantations commerciales, 341 p. dactyl. – Thèse de troisième cycle, Ecole Pratique des hautes Etudes, Paris, 1973
- Mathis Ph., Economie urbaine et théorie des systèmes, Université François Rabelais, Faculté de Droit et de Sciences Economiques, Tours, 1978.
- Mathis Ph., Graphes et réseaux, modélisation multiniveau, ouvrage collectif sous la direction de Philippe Mathis, Traité IGAT, ed. Hermes, 2003.
- Moriconi - Ebrard F., Gazel H., Métropolisation et dynamiques de peuplement. L'émergence de la métropole euro-méditerranéenne, Cahiers de la métropolisation, n°2. Dossier+ fiches couleurs, 100 p, 2001.
- Pini G., L'interaction spatiale", in Encyclopédie de géographie, pp 557-576, sous la dir. De Bailly A., Ferras R., Pumain D., Paris : Economica, 1992, 1132 p.
- Pumain D., Saint Julien T., 1999. – Les interactions spatiales. – Paris : Armand Colin.
- Roncayolo M., La ville et ses territoires, Gallimard.
- Sanders L., L'analyse statistique des données géographiques, Alidade-Reclus, 1989, 267p.
- Thiard Ph., L'offre territoriale : un nouveau concept pour le développement des territoires et des métropoles, Territoires 2030, mai 2005 n°1, La DATAR, pp17 - 28.
- Tirone L., Ellerkamp V., La région Provence Alpes Côte d'Azur à l'aube du XXIe siècle, Méditerranée, Revue géographique des pays méditerranéens, Tome 101, 3.4.2003, Institut de Géographie de l'Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Wiel M., La transition urbaine : ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée, coll. Architecture + Recherches, ed Mardaga, 1999.
- Wiel M., Ville et mobilité, un couple infernal, éditions de l'Aube, Paris, 90p., 2005.