



**HAL**  
open science

# Accessibilité et évaluation des politiques de transport en milieu urbain : le cas du tramway strasbourgeois

Aurélie Mercier

► **To cite this version:**

Aurélie Mercier. Accessibilité et évaluation des politiques de transport en milieu urbain : le cas du tramway strasbourgeois. Economies et finances. Université Lumière - Lyon II, 2008. Français. NNT : . tel-00354832

**HAL Id: tel-00354832**

**<https://theses.hal.science/tel-00354832>**

Submitted on 21 Jan 2009

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

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

UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

FACULTÉ DE SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION

ACCESSIBILITÉ ET ÉVALUATION DES POLITIQUES  
DE TRANSPORT EN MILIEU URBAIN :  
LE CAS DU TRAMWAY STRASBOURGEOIS

THESE POUR LE DOCTORAT DE SCIENCES ECONOMIQUES  
MENTION ECONOMIE DES TRANSPORTS

Présentée et soutenue publiquement par

Aurélie MERCIER

Le 8 décembre 2008

MEMBRES DU JURY

- M. Alain AYONG LE KAMA, Professeur à l'Université Lille 1, Rapporteur
- M. Laurent CHAPELON, Professeur à l'Université Montpellier III, Rapporteur
- M. Yves CROZET, Professeur à l'Université Lumière Lyon 2, Directeur de thèse
- M. Michel MASSONI, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées
- M. Charles RAUX, Ingénieur de recherches au CNRS
- M. Gebhard WULFHORST, Professeur à la Technische Universität München, Rapporteur

## **Avant propos**

Les quelques pages qui suivent retranscrivent mon travail de thèse mené depuis près de quatre ans au Laboratoire d'Economie des Transports. Comme toute recherche, celle-ci n'aura pas connu une trajectoire linéaire : si elle s'est enrichie des « erreurs de parcours », elle doit également beaucoup aux rencontres qui ont jalonné ces dernières années.

Aussi, mes premiers remerciements iront-ils à Yves CROZET pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer mon mémoire de DEA puis cette thèse. Ses conseils avisés et son expérience ont été précieux pour l'accomplissement de cette recherche.

Mes travaux doivent également beaucoup à la collaboration de Charles RAUX. Ses commentaires et remarques m'ont permis de clarifier ma rédaction et m'ont donné de nouvelles pistes de réflexion.

Je suis également reconnaissante envers les membres du LET, et plus particulièrement les membres de l'équipe MOSART, pour les conseils distillés au cours de ces quatre dernières années.

Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans le soutien financier de l'ADEME et n'aurait probablement jamais été terminée sans le concours de l'Université Lyon 2 et de l'IUT Lumière.

Je remercie enfin toutes les personnes présentes dans les « coulisses » de cette thèse et en particulier mes parents. Votre soutien, vos encouragements et tout simplement votre présence m'auront été indispensables . . .

# Sommaire

<b>Avant Propos</b>	<b>i</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
I    Quel(s) outil(s) pour évaluer les politiques de transport en milieu urbain ? . . . . .	3
II   Des politiques de transport paradoxales ? . . . . .	5
III  D'une dimension temporelle à une dimension spatio-temporelle	7
IV  Problématique et démarche de travail . . . . .	7
<b>I Mise en œuvre de mesures d'accessibilité : fondements analytiques, théoriques et empiriques</b>	<b>10</b>
<b>Introduction de la partie I</b>	<b>11</b>
<b>Chapitre 1 : Les différentes approches de l'accessibilité. Revue de la littérature et fondements théoriques.</b>	<b>13</b>
I    Introduction . . . . .	13
II   Une approche agrégée de l'accessibilité . . . . .	15
III  Une approche désagrégée de l'accessibilité . . . . .	25
IV   Fondements théoriques . . . . .	36
V    Conclusion du chapitre 1 . . . . .	48
<b>Chapitre 2 : Strasbourg ou l'exemple d'une politique pionnière en matière d'accessibilité urbaine</b>	<b>49</b>
I    Introduction . . . . .	49
II   Eléments de cadrage . . . . .	50
III  Une politique de transport à deux vitesses . . . . .	58

IV	Les pratiques de mobilité des Strasbourgeois . . . . .	67
V	Conclusion du chapitre 2 . . . . .	77
<b>Conclusion de la partie I</b>		<b>79</b>
 <b>II Le SIG : un outil au service de l'accessibilité</b>		<b>81</b>
<b>Introduction de la partie II</b>		<b>82</b>
<b>Chapitre 3 : Construction d'un SIG dédié aux transports. Consi- dérations méthodologiques et modélisation des réseaux de transport.</b>		<b>85</b>
I	Introduction . . . . .	85
II	Architecture et fonctionnalités du SIG . . . . .	86
III	Intégration des données spatiales . . . . .	89
IV	Localisation des opportunités . . . . .	90
V	Modélisation du réseau routier . . . . .	92
VI	Modélisation de l'offre de transports en commun . . . . .	119
VII	Conclusion du chapitre 3 . . . . .	127
<b>Chapitre 4 : De l'offre de transport à la détermination de l'ac- cessibilité</b>		<b>129</b>
I	Introduction . . . . .	129
II	Des temps de déplacement au coût temporel . . . . .	131
III	De la distance de déplacement au coût monétaire . . . . .	151
IV	L'évaluation de la sensibilité des individus au coût généralisé .	156
V	La sensibilité des résultats aux paramètres d'entrée . . . . .	159
VI	Conclusion du chapitre 4 . . . . .	165
<b>Conclusion de la partie II</b>		<b>168</b>
 <b>III De la mesure de l'accessibilité à l'évaluation des politiques de transport</b>		<b>170</b>
<b>Introduction de la partie III</b>		<b>171</b>

<b>Chapitre 5 : Éléments pour une évaluation <i>a posteriori</i> de la politique de transport au travers du prisme de l'accessibilité</b>	<b>173</b>
I Introduction . . . . .	173
II Considérations méthodologiques et lecture des résultats cartographiques . . . . .	175
III Une évaluation sous l'angle de la concurrence modale . . . . .	176
IV Une évaluation de la politique de transport à l'échelle spatiale	191
V Conclusion du chapitre 5 . . . . .	203
<b>Chapitre 6 : Simulations autour des mesures d'accessibilité pour une meilleure définition des politiques de transport</b>	<b>206</b>
I Introduction . . . . .	206
II Sensibilité au coût généralisé et perception du niveau d'accessibilité . . . . .	207
III Accessibilité aux différents types d'emplois . . . . .	222
IV Trois variantes pour une réduction du différentiel d'accessibilité entre les modes . . . . .	231
V Conclusion du chapitre 6 . . . . .	244
<b>Conclusion de la partie III</b>	<b>247</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>249</b>
I La démarche de travail . . . . .	250
II Les principaux résultats et apports . . . . .	251
III Les perspectives de travail . . . . .	254
<b>Bibliographie</b>	<b>258</b>
<b>Annexes</b>	<b>272</b>
Annexe 1 : Périmètre de l'Enquête Ménages Déplacements 1997 . . . . .	273
Annexe 2 : Les quartiers de Strasbourg . . . . .	274
Annexe 3 : Vitesses sur les tronçons routiers et autoroutiers . . . . .	275
Annexe 4 : Attributs des lignes de bus en 1993 . . . . .	287
Annexe 5 : Attributs des lignes de bus et de tramway en 2005 . . . . .	288
Annexe 6 : Glossaire . . . . .	290
<b>Table des figures</b>	<b>292</b>

*SOMMAIRE*

---

Liste des tableaux	294
Table des matières	295

# Introduction générale

« Expliquer son cheminement, ses choix tient de la reconstitution *a posteriori* de hasards de rencontres et de saisie d'opportunités »<sup>1</sup>. Le choix d'un sujet de thèse ne dément pas cette formule. Bien qu'inscrit dans un parcours universitaire, une thématique, il répond cependant à des préoccupations concrètes en se concentrant sur un point nodal et un terrain d'étude. La problématique initiale de la thèse, financée par l'ADEME<sup>2</sup>, consistait à mettre en évidence le rôle du temps dans les politiques de transport en milieu urbain et ses répercussions tant sur l'environnement que sur les comportements de mobilité. Le calcul économique était alors interrogé sur l'arbitrage entre une limitation de la pollution provoquée par le transport automobile et une nécessaire mobilité. Au fil des mois, la problématique a évolué pour ajouter à la dimension temporelle la dimension spatiale et tenir compte des faiblesses du calcul économique traditionnel. Une analyse en termes d'accessibilité est venue se substituer à une analyse en termes de temps de parcours.

Le terrain d'étude peut être le prétexte au sujet ou en être « seulement » une illustration. Sans faire de Strasbourg un cas particulier qui nous aurait amené à l'étude de l'accessibilité, le choix de ce terrain d'étude s'est imposé tant il se veut volontariste sur les problématiques de mobilité et de politique de transport. L'exemple de Strasbourg illustre tout autant notre travail qu'il le préfigure. L'enquête ménages déplacements réalisée sur l'aire d'étude de Strasbourg en 1997, fait état d'un accroissement de plus de 10% du nombre de déplacements quotidiens depuis 1987 et d'un accroissement des déplacements automobiles de plus de 20%. Loin de se cantonner au centre de la ville [89] et aux motifs professionnels, les déplacements s'inscrivent de

---

<sup>1</sup>Céline Rozemblat, Parcours scientifique,  
< <http://www.mgm.fr/ARECLUS/pageauteurs/rozenparcours.pdf> >,  
consulté le 5 septembre 2008

<sup>2</sup>L'ensemble des abréviations utilisées dans cette thèse sont répertoriées en annexe 6



plus en plus à la périphérie des villes-centres et s'expliquent par des motifs non contraints.

Les problématiques de mobilité, notamment mises en évidence à Strasbourg, se concentrent principalement autour de la congestion urbaine et des questions environnementales. Leur origine se situe dans un phénomène d'accroissement de mobilité, ou plutôt d'automobilité, et de dépendance automobile [64]. Les « nouvelles » pratiques de mobilité sont à relier à l'évolution des modes de vie et à la transformation de la structure urbaine. L'apparition, en 1966, de l'adjectif péri-urbain dans le dictionnaire [143] traduit ainsi un phénomène d'étalement de la ville autour de l'agglomération, généralement associé à une baisse des densités au centre de la ville. La ville pédestre a laissé place à une ville motorisée [49]. Si les nouvelles conditions de mobilité urbaine, en élargissant le champ des destinations possibles, ont favorisé la périurbanisation, il ne faut pas attribuer ce phénomène au seul essor de l'automobile. Pour reprendre les propos de Marc Wiel [177], la périurbanisation de l'habitat est à la confluence de l'évolution des revenus, des modes de vie, de la localisation des emplois et de la mobilité facilitée qui permet de proportionner le coût foncier à ses moyens.

Face à cette nouvelle donne, le rôle des politiques urbaines et de transport est crucial. Si la réponse au besoin de mobilité croissant passe par la réalisation d'infrastructures de transport, l'analyse de la politique de transport menée sur l'aire d'étude de Strasbourg montre que la solution n'est pas unique. Le système de transport constitue l'un des facteurs de développement économique d'une agglomération et se doit d'être efficace ; la vitesse de déplacement permise par une infrastructure est alors considérée comme prioritaire. Dans ce contexte, la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle est marquée par le développement des voies routières rapides pour relier les quartiers centraux et périphériques. Toutefois, aux enjeux économiques viennent s'ajouter les problèmes de congestion et les enjeux environnementaux. Les années 90 se traduisent par une réflexion sur la réintroduction des modes de transports collectifs en site propre et de surface au cœur de la ville. Cette évolution des tendances n'est pas particulière à Strasbourg. Bien qu'apparue quelques années plus tard, une réflexion similaire a été menée et/ou est menée dans de nombreuses agglomérations françaises. Le cas de Strasbourg, en cristallisant les problématiques de transport et de mobilité ainsi que les réponses qui leur sont associées, illustre l'état et l'évolution de la réflexion sur les politiques

de transport en milieu urbain. Si la vitesse n'est pas véritablement remise en cause dans les zones périphériques, le développement des modes plus lents en centre-ville repose la question des avantages attendus d'une infrastructure de transport. La problématique de l'évaluation des politiques de transport en milieu urbain devient alors centrale.

## **I Quel(s) outil(s) pour évaluer les politiques de transport en milieu urbain ?**

Le calcul économique peut être considéré comme un « juge de paix des projets » [82]. Plus prosaïquement, il constitue un outil d'aide à la décision intégrant les paramètres sociaux, environnementaux et économiques dans la mesure où ils sont monétarisables. Les méthodes d'évaluation des infrastructures de transport traditionnellement utilisées par le calcul économique reposent sur une analyse coûts-avantages. Cette dernière met en regard la somme des avantages et des coûts d'un projet sur toute sa vie en unités homogènes. L'évaluation économique appliquée au champ des transports compare de fait les gains et les pertes liés à la réalisation d'une nouvelle infrastructure sur la base de valeurs tutélaires pour monétariser les différents effets et externalités. Le calcul économique traditionnel repose ainsi sur la notion de surplus de l'utilisateur, dans un cadre de rendements croissants, de concurrence et d'absence d'externalités, ces dernières étant internalisées par l'évaluation économique. Les investissements de transport sont essentiellement motivés par les gains de temps, ces derniers représentant environ les 4/5ème des gains procurés par la réalisation des infrastructures en milieu interurbain. En l'absence de recommandations spécifiques, ce même raisonnement est appliqué en milieu urbain et tend ainsi à valoriser les infrastructures rapides, c'est-à-dire les projets routiers.

Pourtant, si l'évaluation économique fait l'objet d'un relatif consensus pour la mise en place de liaisons interurbaines, sa transposition en milieu urbain semble se heurter à de nombreuses difficultés. Ainsi, la complexité des phénomènes urbains et la diversité des acteurs en présence génèrent des effets externes que le calcul économique peut difficilement intégrer. Or, c'est précisément en milieu urbain que les politiques de transport se trouvent confrontées, aujourd'hui, aux plus grandes difficultés. Guesnerie [56] parle ainsi de « complexification des besoins et de diversification des attentes ».

La complexification des besoins renvoie aux attentes des usagers et plus généralement à la diversité des usagers et de leurs besoins. Contrairement aux hypothèses du calcul économique standard, le gain de temps n'est pas nécessairement le seul avantage retiré par les usagers d'une nouvelle infrastructure. Ces derniers valorisent également le niveau de confort. Si ces remarques sont valables en interurbain, elles sont encore plus prégnantes en milieu urbain où les conditions de déplacement sont intégrées par les usagers et impactent, pour certains, le mode de déplacement utilisé. Il convient dès lors d'évaluer la qualité de service ou de confort au-delà du simple temps de déplacement « réel ». Pour reprendre les propos de Guesnerie, la valeur du temps utilisée dans un calcul économique standard mesure les avantages du déplacement de façon souvent simpliste alors que le service de transport est complexe. Dans ce sens, Guesnerie propose ainsi de relancer la réflexion sur le succès « mal anticipé » du tramway auprès des usagers.

La diversification des attentes répond notamment à la présence d'externalités générées par une nouvelle infrastructure de transport en milieu urbain. Celles-ci peuvent être positives dans le cadre d'externalités spatiales (échange d'informations, aménités urbaines ...) et de réseaux ou négatives avec les phénomènes de congestion, de pollution ou les atteintes sur le paysage. Ces externalités, présentes en interurbain, mais plus encore en milieu urbain ne sont pas intégrées par le calcul économique. Le calcul économique évaluant les variations de surplus dans le cadre de transformations marginales, son extension au cas urbain est plus délicate. De fait, les transformations produites par une nouvelle infrastructure peuvent influencer le système de localisation et, de ce fait, ne revêtent pas toujours un caractère marginal. Pour pouvoir malgré cela parler de surplus des usagers en milieu urbain, nous excluons toute modification des localisations des individus et analysons uniquement l'impact d'une infrastructure sur l'offre de transport.

Consciente des particularités inhérentes au milieu urbain, l'autorité publique a lancé au cours des années 90 une série de travaux pour « explorer des domaines jugés peu accessibles à l'analyse économique »[44]. En 1997, le développement d'instruments d'évaluation économique adaptés au contexte des transports urbains constituait déjà une « priorité reconnue »[131]. Un groupe de travail composé essentiellement de membres du ministère de l'Economie et des Finances et du ministère des Transports avait alors tenté « quelques points de départ et recommandations opérationnelles pour assurer le dévelop-

pement de l'évaluation des projets de transport en milieu urbain ». Les travaux du groupe Boiteux ont poursuivi l'effort engagé en proposant, en 2001, des valeurs du temps en milieu urbain et en faisant état recommandations sur la prise en comptes des externalités propres à cet espace. Si la question de l'évaluation des projets de transport en milieu urbain est sensible, celle de l'évaluation des projets de transports en commun l'est davantage. Ainsi depuis 1994, deux groupes de travail pilotés par le Syndicat des Transports de la région Ile-de-France ont été mis en place pour élaborer un guide pour l'évaluation des projets de transports en commun en Ile-de-France [125], [124].

Si la nécessité de mener un travail de fond sur l'évaluation économique en milieu urbain est perçue, les résultats restent à ce jour partiels (seul le temps de transport en milieu urbain fait l'objet d'une valorisation). Concernant l'évaluation des projets de transports en commun, seul le CERTU fournit quelques recommandations davantage issues des pratiques en vigueur que d'une réflexion prospective [34]. Sans doute la raison de cet « échec » se trouve-t-elle dans la complexité du milieu urbain ou encore dans la remise en cause du calcul économique [40]. Cette crise du calcul économique en milieu urbain et l'absence de réelles recommandations peut se traduire alors par des politiques de transport paradoxales.

## II Des politiques de transport paradoxales ?

L'adjectif paradoxal est défini par le dictionnaire Larousse comme *contraire à la logique ou à la raison*. Suivant cette définition, une politique de transport paradoxale serait alors contraire à la raison du calcul économique qui favorise les gains de temps. Tandis que, par défaut, le calcul économique tend à valoriser les infrastructures dite rapides comme les infrastructures routières, pourquoi mettre en place des infrastructures de transport en commun de surface, réputées plus lentes, pour répondre à la demande croissante de mobilité et à la congestion qui en résulte ?

Godwin considère ainsi que la solution de la route face à la congestion croissante apparaît comme le remède « naturel » à appliquer [81]. Toutefois, si la résorption de la congestion peut se faire par la route cela ne sous-entend pas nécessairement qu'il faut réaliser de nouvelles infrastructures routières mais plutôt exploiter différemment celles existantes. Ainsi, comme le présente la conjecture de Mogridge, accroître uniquement la capacité routière des zones

congestionnées génère un trafic induit qui peut se révéler contre-productif [134], [135], [133]. En considérant l'hypothèse que les individus remettent en cause régulièrement leur choix modal, la mise en place d'infrastructures routières se traduit par un report des usagers des transports publics vers l'automobile. De ce fait, le coût unitaire d'un déplacement en transports en commun augmente (toutes choses égales par ailleurs) et l'attractivité de ce mode de transport diminue. Toutefois, dans le même temps, l'accroissement du trafic automobile génère de la congestion qui, par le biais d'une hausse du coût généralisé du déplacement en voiture, tend également à réduire l'attractivité du mode privatif. Ce cercle vicieux perdure jusqu'à ce que les coûts généralisés de l'automobile se « calent » sur ceux des transports publics. La congestion est alors considérée comme un phénomène inhérent aux grandes agglomérations et auquel il est difficile d'échapper. Elle peut même être envisagée positivement comme le reflet de la croissance économique [61].

En jugulant l'excès de demande, la congestion établit un trafic d'équilibre. Les individus s'adaptent ainsi à cette situation sur la base du Principe de Triple Convergence. Ce dernier est défini par Downs comme le processus complexe d'adaptation des individus au trafic routier par le biais de changements en termes de temps et de modes de déplacements mais aussi de localisation. Goodwin [81] a évoqué cette solution du « laisser-faire » dans ses propositions de remèdes à la congestion « en laissant le système fonctionner de la façon qu'il veut ». Il reste toutefois plus sceptique quand à l'efficacité d'une telle mesure notamment dans le cas où le système fonctionne à la limite de la capacité. Dans ces conditions, un accroissement du trafic en heure de pointe pourrait générer un blocage important de l'infrastructure, voire remettre en cause les conditions de sécurité des usagers.

Une telle politique, sans un développement parallèle des transports en commun, peut rapidement se traduire par une situation d'asphyxie du centre-ville. Jean Varlet introduit ainsi la notion d'enclavement fonctionnel urbain [159] pour illustrer la position de la ville-centre qui, malgré les multiples infrastructures qui la relient au reste du territoire, ou à cause d'elles, se trouve isolée, en heure de pointe, en raison de la saturation, voire de la congestion, de ses pénétrantes. Dès lors, le paradoxe ne serait plus de mettre en service des infrastructures de transports en commun mais de continuer à raisonner dans une optique uniquement économique alors que l'espace apparaît comme une dimension centrale de la problématique.

### III D'une dimension temporelle à une dimension spatio-temporelle

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'évaluation économique repose, de fait, sur la notion de surplus de l'utilisateur. Réalisée à partir de la même méthode et des critères identiques en milieu urbain et interurbain, elle tend à valoriser les gains de temps et plus généralement la vitesse de déplacement. Parmi ses faiblesses recensées lorsqu'elle est appliquée en milieu urbain, la non-prise en compte des externalités, et notamment des interactions sociales, en est l'une des plus prégnantes.

De fait, s'il est communément admis de définir la ville comme l'espace quasi continu du bâti, cette vision héritée des architectes et urbanistes ne doit pas faire oublier les multiples facettes de cet espace. Ainsi Bonnafous et Puel [22] envisagent la ville comme une imbrication de trois sous systèmes : un système de localisations, un système de déplacements et un système de relations sociales. Le système de localisations traduit l'occupation de l'espace par les individus, les emplois, les infrastructures. Le système de déplacements renvoie aux flux de personnes et de biens tandis que le système de relations sociales reprend les activités des individus au sein d'une société.

Ne réduire la ville qu'au sous-système de transport revient à négliger les systèmes de localisation et de relations sociales. Le transport est une demande intermédiaire qui permet de satisfaire un besoin de relations sociales dans le cadre d'une proximité organisée [88]. Il n'est pas une consommation finale dont la seule réalisation procure une satisfaction. La notion de déplacement et de temps qui l'accompagne se double ainsi d'une notion de densité et d'espace. Le concept d'accessibilité, et plus particulièrement d'accessibilité gravitaire, en prenant en compte cette double dimension spatiale et temporelle permet d'associer au coût du déplacement les opportunités qu'il permet d'atteindre.

## IV Problématique et démarche de travail

### IV.1 Problématique

La problématique de la thèse pourrait s'intituler « évaluation des politiques de transport en milieu urbain : à la redécouverte de l'accessibilité ». En effet la thèse s'articule autour de deux principaux axes de recherche.

Sur un plan théorique, la thèse vise à démontrer que les indicateurs d'accessibilité se révèlent pertinents pour évaluer l'utilité sociale d'un projet ou d'une politique. Ces indicateurs ont en général pour but de contribuer à l'évaluation de la performance d'un système de transport pour accéder à des opportunités et ce, à partir de différents points ou zones d'un espace et/ou pour différents individus ou groupes caractérisés par leur situation socio-économique. L'accessibilité se veut dès lors un indicateur « composite » associant l'élément résistant d'un déplacement (son coût) et son élément moteur (l'utilité procurée par les opportunités atteintes à destination). La cohérence démontrée de ce type d'indicateur avec le calcul traditionnel de surplus permet ainsi de l'intégrer, pour l'évaluation d'un projet en milieu urbain, dans une analyse coûts-avantages en complément des gains de temps, habituellement utilisés.

Sur un plan empirique, la thèse évalue l'impact de la mise en place d'une politique de transport favorable aux transports en commun sur le niveau d'accessibilité de différents types d'usagers (automobilistes et usagers des transports en commun). Pour ce faire, un Système d'Information Géographique est mis en place sur l'ensemble de l'aire d'étude. Il intègre, au-delà du nombre d'opportunités, les conditions de déplacement en voiture particulière et transport en commun avant et après la réorganisation du réseau de transports en commun. Le SIG permet, pour chacun des deux modes, de comparer les niveaux d'accessibilité à l'emploi antérieurs et postérieurs à la politique de transport. Nous cherchons alors à savoir dans quelle mesure la mise en place d'une telle politique affecte le surplus des usagers et dans quelle mesure la politique est cohérente avec les objectifs annoncés.

Par ailleurs, en définissant différents scénarios, la thèse fournit également les éléments pour évaluer des politiques alternatives à celle mise en place pour favoriser l'utilisation des transports en commun.

### **IV.2 Plan de la thèse**

Suivant la problématique définie précédemment, la thèse s'organise en trois grandes parties. La première partie présente les fondements théoriques et empiriques de la mise en œuvre de mesures d'accessibilité. La seconde partie se concentre sur le développement des outils et modèles pour mesurer

l'accessibilité. La troisième partie mobilise les mesures d'accessibilité dans le cadre d'une évaluation de politique de transport et de ses alternatives possibles.

Le **chapitre 1**, au-delà d'une revue de la littérature des indicateurs d'accessibilité, s'attache à exposer la cohérence théorique entre modèle de comportement, mesure d'accessibilité et calcul de surplus. L'analyse est menée pour le modèle d'interaction spatiale gravitaire en s'appuyant en partie sur les travaux de Dupuit [63] et Hansen [87].

A partir du cas de Strasbourg, présenté et justifié au **chapitre 2**, les différentes étapes de la modélisation de l'offre de transport et du calcul des coûts généralisés de transport sont développées au cours des **chapitres 3 et 4**. La modélisation associe un Système d'Information Géographique et un modèle à quatre étapes afin de déterminer précisément les vitesses et les trafics sur les différents tronçons des réseaux étudiés. Le SIG comporte ainsi différentes couches d'information dédiées aux réseaux de transport : les réseaux routiers et de transports en commun sont modélisés en considérant les situations antérieures et postérieures à la mise en place d'une nouvelle politique de transport.

Le **chapitre 5** développe des calculs de surplus de l'utilisateur, menés à partir des mesures gravitaires de l'accessibilité, en considérant plusieurs axes de recherche. Une évaluation *a posteriori* de la politique de transport mise en place à Strasbourg est tout d'abord menée au travers du prisme de l'accessibilité aux emplois. Nous orientons notre recherche sur le lien accessibilité/aménagement du territoire en analysant l'impact du tramway sur l'accès au centre-ville, depuis les zones périphériques. Cette évaluation nous conduit à envisager, au **chapitre 6**, sa perception par les différentes catégories d'utilisateurs puis différents scénarios pour améliorer la compétitivité des transports en commun (taxation des automobilistes, mise en site propre des lignes de bus).



## Première partie

Mise en œuvre de mesures  
d'accessibilité : fondements  
analytiques, théoriques et  
empiriques

## Introduction de la partie I

L'accessibilité, terme datant de 1630, est couramment définie comme « la possibilité d'accéder, d'arriver à »<sup>3</sup> ou comme « la faculté d'avoir accès »<sup>4</sup>. Cette définition souligne la dimension spatiale sous-jacente à ce concept ainsi que, de façon implicite, la capacité physique à se déplacer. Si la définition des académiciens revêt un caractère neutre et « universel », l'usage du terme *accessibilité* est, dans la réalité, bien plus connoté que ne le laisse présager le dictionnaire. Le CERTU [35] explique ainsi que la langue française, contrairement à celle de Shakespeare, regroupe sous un même vocable plusieurs réalités différentes :

- l'accessibilité spatiale renvoie à l'accès aux fonctions urbaines grâce à l'utilisation d'un réseau de transport
- l'accessibilité sociale intègre les inégalités individuelles et/ou géographiques dans l'accès aux fonctions urbaines
- l'accessibilité physique s'attache à favoriser l'accès des personnes à mobilité réduite aux fonctions urbaines

Le terme initial d'accessibilité, au sens de l'accessibilité spatiale, aurait donc dans une certaine mesure « muté » pour intégrer les contraintes physiques et sociales dans la possibilité « d'accéder à ». . . En réalité cette mutation nous aide à comprendre pourquoi l'accessibilité peut être envisagée comme un concept opératoire où, du moins, un concept pseudo-opératoire.

On appelle généralement *concept* « ce que l'esprit forme au contact des phénomènes expérimentaux ». Par extension, le concept scientifique est la traduction d'une loi en formule mathématique : il permet de reproduire, de prévoir un phénomène. Sur cette base et selon la définition d'Alain Bonnafous [20], on qualifie de concept opératoire ce qui peut être défini avec le procédé qui permet de le repérer et de le mesurer. Autrement dit, pour être opératoire, un concept doit être formalisé (par le biais d'un modèle) et doit pouvoir se mesurer (grâce à une donnée disponible). En suivant le raisonnement d'Alain Bonnafous sur l'élasticité, reprenons le cas de l'accessibilité. L'accessibilité spatiale peut être mesurée par :

---

<sup>3</sup>Le Petit Robert, 2001

<sup>4</sup>Le Dictionnaire de l'Académie Française

$$A_i = \sum_j D_j f(c_{ij})$$

La fonction  $f$  peut prendre plusieurs formes (exponentielle, puissance ...). Choisir une forme revient à donner une spécification au modèle. En estimer les différents paramètres revient à utiliser une donnée. Dès lors, grâce à ce procédé, l'accessibilité peut être considérée comme un concept dont la mesure peut être répétée régulièrement et ainsi être opératoire.

Pour revenir aux différentes « réalités » de l'accessibilité, on peut calculer l'accessibilité et ce, bien que le coût varie en fonction du lieu de résidence ou des caractéristiques physiques des individus. Toutefois, selon les échelles spatiales (si l'on calcule l'accessibilité en milieu urbain ou bien à l'échelle interurbaine), la forme de la fonction de résistance ne sera peut être pas la même. Il y aura ainsi plusieurs modèles pouvant être mis en œuvre et, de ce fait, plusieurs réalités différentes. De ce point de vue, l'accessibilité n'est plus tout à fait un concept opératoire mais plutôt un concept pseudo-opératoire. Si ces quelques lignes nous aident à comprendre la richesse de ce que nous appellerons désormais le « concept d'accessibilité », elles soulèvent également ses multiples formes et d'une certaine façon sa complexité.

Le chapitre 1 propose ainsi de revenir sur les différentes approches de l'accessibilité et expose les fondements théoriques de l'une d'entre elles, la mesure gravitaire, utilisée dans la suite de notre travail. « Tout concept opératoire (ou pseudo-opératoire) passant par l'expérience » [20], nous envisageons des mesures de l'accessibilité gravitaire sur l'aire d'étude de Strasbourg. Le chapitre 2 explique les raisons qui nous ont conduit à mener notre travail sur ce terrain.

# Chapitre 1 : Les différentes approches de l'accessibilité. Revue de la littérature et fondements théoriques.

## I Introduction

Ce premier chapitre vise à préciser les différentes formes que revêt l'accessibilité ainsi que les mesures qui leur sont associées. Toutefois, définir le concept d'accessibilité n'est pas une chose aussi aisée qu'il n'y paraît. Chaque discipline entend l'accessibilité différemment selon qu'elle se concentre sur l'accessibilité d'un lieu ou l'accessibilité d'une fonction [90], l'accessibilité relative ou l'accessibilité intégrale [158], ou encore qu'elle envisage l'accessibilité comme un outil d'évaluation de la satisfaction des individus ou de la qualité d'un système de transport. Ben-Akiva et Lermann [16] constatent que la littérature sur l'accessibilité se focalise sur ses mesures sans toujours préciser ce qu'elle entend par accessibilité. En résumé, pour paraphraser les propos de Gould (repris in [121]), l'accessibilité est un concept « glissant » que chacun utilise à sa guise jusqu'à ce qu'il soit confronté au problème de sa définition et de sa mesure.

Le vocable d'accessibilité apparaît pour la première fois dans la littérature en 1959 dans un article de Hansen [87]. L'auteur, en cherchant à « explorer » le lien entre localisation spatiale et trafic routier, invoque l'accessibilité comme l'un des facteurs principaux influençant l'organisation de l'espace. Le concept d'accessibilité se trouve de fait aux confins de plusieurs disciplines qui ont chacune contribué à son développement. Il est principalement utilisé

en géographie, en économie régionale et urbaine ainsi qu'en économie des transports. Sa « multi-disciplinarité » lui confère une variété d'approches associée à des perspectives de développement. Derrière l'attrait de ce concept pouvant être mobilisé dans de nombreux champs et disciplines, se cache en réalité une diversité de points de vue qui envisagent l'accessibilité sans pour autant la définir précisément. L'objectif de ce chapitre n'est donc pas de donner une définition précise et unique de l'accessibilité mais plutôt d'envisager les diverses approches de ce concept et, par conséquent, ses multiples définitions et mesures.

Une définition de l'accessibilité, dans son acception générale, est donnée par Morris *et al.*. « L'accessibilité peut être définie comme une mesure de la séparation spatiale des activités humaines. Elle traduit la facilité avec laquelle les activités peuvent être atteintes étant donné un lieu d'origine et un système de transport ». Cette définition est enrichie par Masson [121] pour qui l'accessibilité correspond « au franchissement de la barrière opposée par l'espace au mouvement des personnes et des choses, comme à l'échange des biens, des services et des informations ». Résumant ces définitions, nous retiendrons l'approche de Geurs et Wee [77] : l'accessibilité doit refléter l'organisation spatiale et la qualité du système de transport qui offrent aux individus (pris isolément ou par groupes) la possibilité de participer à des activités localisées en différents points du territoire. L'accessibilité peut dès lors être appréhendée au travers de différents points de vue [104]. De ces perspectives découleront différentes approches et mesures de l'accessibilité. Si l'on se réfère à Geurs et Wee, l'accessibilité présente quatre grandes dimensions : une dimension spatiale à savoir l'organisation du territoire, une dimension « technique » concernant le système de transport, une dimension temporelle et une dimension individuelle ou comportementale. Ces quatre dimensions ne sont bien évidemment pas indépendantes mais interagissent, chacune formant, à l'exception de la dimension temporelle, un sous ensemble de l'espace urbain<sup>5</sup>.

Détaillons chacune de ces dimensions en envisageant les approches et mesures qui leur sont associées :

- La dimension spatiale renvoie à l'organisation de l'espace et plus particulièrement à la localisation des individus (où des ménages) et des activités (emplois, services, commerces, équipements de loisirs, etc...).

---

<sup>5</sup>En référence à la définition de la ville de Bonnafous et Puel rappelée en Introduction

Atteindre les opportunités constitue pour les individus une source de satisfaction : Koenig envisage cela comme l'élément moteur du déplacement.

- La dimension « technique » fait référence au système de déplacement. Le transport étant un bien intermédiaire il ne constitue pas une consommation finale. Bien au contraire, le temps consacré au transport est souvent perçu négativement. Il constitue, selon Koenig, l'élément résistant du déplacement. La relation entre élément moteur et résistant du déplacement est à la base des mesures gravitaires de l'accessibilité.
- La dimension temporelle est fortement rattachée à la précédente dans la mesure où le transport génère un coût temporel. La contrainte temporelle se matérialise également dans les emplois du temps des individus : au-delà d'une contrainte temporelle immuable identique pour tous les individus (journées de 24 heures), la présence d'activités contraintes réduit le temps disponible pour d'autres activités. Les mesures issues de la *time-geography* ont été développées dans le souci de prendre en compte les contraintes temporelles individuelles.
- La dimension « individuelle » est sous-jacente aux trois dimensions précédentes. Il convient toutefois de lui accorder une place à part entière dans la mesure où, du niveau d'accessibilité, dépend directement le niveau d'utilité (et donc de bien-être) de l'individu. Des mesures dites « composites » associent les contraintes temporelles et les mesures d'utilité.

Une fois les différentes approches présentées, nous nous intéresserons, dans la section IV aux fondements théoriques de l'une d'entre elles afin d'étayer notre choix en faveur de l'utilisation d'indicateurs gravitaires.

## II L'accessibilité vue sous l'angle de la séparation spatiale : une approche agrégée de l'accessibilité

Les deux premières sections de ce chapitre offrent une revue de la littérature des approches et des mesures d'accessibilité les plus fréquemment mentionnées. Nous avons choisi de regrouper ces différentes approches selon qu'elles s'inscrivent davantage dans une optique d'organisation de l'espace,

on parle alors d'approche agrégée, ou dans une optique micro-économique en s'attachant aux comportements individuels, on parle alors d'approche désagrégée. Cette première section envisage les différentes mesures suivant la définition de l'accessibilité établie par Morris, à savoir que l'accessibilité est, avant toute chose, une mesure de la séparation spatiale des activités humaines. Trois principales mesures, allant de la plus intuitive à la plus « élaborée », sont présentées dans cette section. La mesure de l'accessibilité par un simple indicateur de distance s'enrichit pour intégrer les opportunités atteintes et développer son analogie avec les modèles gravitaires.

## II.1 L'accessibilité comme simple indicateur de la distance

L'accessibilité d'un lieu peut être mesurée par sa proximité avec un ou plusieurs autres lieux. Seule est prise en compte la distance séparant les différents lieux tandis que les facteurs d'attractivité sont ignorés. En évoquant ce type de mesures, Ingram [92] parle d'accessibilité relative lorsque l'accessibilité est évaluée entre deux points et d'accessibilité intégrale lorsqu'il y a interconnexion entre un point et l'ensemble des autres points de la zone. Seule l'accessibilité relative est réflexive.

La notion de distance revêt différentes formes. Elle peut être envisagée comme :

- une « distance physique », en considérant la distance absolue ou bien la distance évaluée au travers des propriétés du graphe du réseau (nombre d'arcs et de nœuds). On parle dans ce dernier cas, de mesure topologique de l'accessibilité [141].
- une « distance temporelle », en considérant le temps de transport calculé ou révélé.
- un coût généralisé du déplacement, en considérant les composantes monétaire et temporelle du déplacement.

L'accessibilité est alors une fonction décroissante de la distance. Elle prend la forme suivante :

$$A_i = \sum_j A_{ij} = \sum_j f(d_{ij})$$

avec

- $A_{ij}$  l'accessibilité de la zone  $j$  depuis la zone  $i$

- $f(d_{ij})$  une fonction de résistance
- $d_{ij}$  la distance entre  $i$  et  $j$  (quelle que soit sa forme)

Notons que la fonction de résistance peut prendre différentes formes (fonction inverse, exponentielle négative...). Toutefois Jiang *et al.* [97] préconisent de remplacer cette fonction par un paramètre de pondération de la distance. Dès lors, l'accessibilité entre  $i$  et  $j$  s'écrit :

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

avec

- $A_i$  l'accessibilité depuis la zone  $i$
- $w_{ij}$  un indice de pondération
- $d_{ij}$  la distance entre  $i$  et  $j$

Cette mesure est relativement peu développée dans la littérature en raison même des limites auxquelles elle est confrontée. De fait l'accessibilité n'est ici qu'une traduction de la distance ou du coût de transport mais n'intègre aucune autre variable pouvant traduire l'organisation spatiale. Le but du déplacement et la satisfaction qu'il apporte à l'individu ne sont pas pris en compte par cet indicateur.

## II.2 Les mesures isochrones

La plupart des mesures isochrones déterminent l'accessibilité d'une zone en décomptant le nombre d'opportunités atteintes, depuis cette zone, sous une contrainte de temps, de distance ou de coût. Ces mesures associent le coût du déplacement et les opportunités. L'accessibilité s'écrit alors :

$$A_i = \sum_j W_j a_j$$

avec

- $A_i$  l'accessibilité depuis la zone  $i$
- $a_j$  les opportunités présentes dans la zone  $j$
- $W_j$  un paramètre :  $W_j=1$  si  $c_{ij} \leq c_{ij}^*$ , et  $W_j=0$  sinon
  - $c_{ij}$  une mesure de coût entre les zones  $i$  et  $j$
  - $c_{ij}^*$  le seuil de coût au-delà duquel les opportunités ne sont plus comptabilisées



Notons qu'à l'inverse, certaines mesures isochrones font peser la contrainte sur le nombre d'opportunités à atteindre et calculent le temps, la distance ou le coût pour les atteindre (Breheny, [27]).

Les mesures isochrones présentent plusieurs inconvénients. Tout d'abord l'interprétation de leurs résultats se heurte à la difficulté de savoir si une variation d'accessibilité tient à une évolution du nombre d'opportunités atteintes ou bien à une variation du temps de déplacement. En outre ces mesures ne considèrent pas le ratio opportunités/distance (ou temps) mais seulement le nombre d'opportunités atteintes. Ceci les amène à stipuler une accessibilité croissante lorsque la contrainte en termes de distance (ou de temps) se desserre [141]. De plus, le seuil de la contrainte étant généralement fixé arbitrairement, la mesure de l'accessibilité ne différencie pas les opportunités présentes à proximité de la zone origine de celles se trouvant à la limite de l'isochrone [16]. Vickerman [167] met par ailleurs en évidence le fait que les mesures isochrones attribuent une pondération identique à toutes les opportunités d'une zones. Si l'on considère le nombre d'emplois comme opportunités, on suppose ainsi que tous les emplois procurent la même utilité à chacun des individus.

### II.3 Les mesures gravitaires

Les mesures gravitaires sont parmi les plus fréquemment mentionnées dans la littérature. Bien qu'apparu en sciences sociales dès le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, il faut attendre les années 1950 pour que le concept d'accessibilité<sup>6</sup> soit véritablement utilisé, notamment dans plusieurs travaux sur le développement urbain et la localisation spatiale. C'est toutefois Hansen [87] qui, le premier, s'est attaché à mobiliser l'accessibilité gravitaire pour concevoir et mesurer l'accessibilité aux opportunités. Ainsi, après un bref rappel sur les modèles gravitaires, nous présenterons les mesures d'accessibilité qui leur sont attachées ainsi que les questions et limites soulevées.

#### II.3.1 Rappel sur les modèles gravitaires

Les modèles gravitaires sont parmi les plus anciens et les plus utilisés en sciences sociales [154]. Dès 1858, Carey développe le concept de gravité en sciences sociales (ces sciences étaient à l'époque plutôt envisagées comme de

---

<sup>6</sup>Le concept d'accessibilité a été introduit sous le vocable de potentialité

la physique sociale) en identifiant l'effet direct de la masse et l'effet inverse de la distance pour expliquer les interactions entre individus. Toutefois, comme le rappellent Sen et Smith [154], c'est à Steward (1941) que l'on doit l'analogie entre les interactions spatiales et la loi de Newton, le comportement des individus étant considéré analogue à celui des atomes. Steward [160] postule ainsi que l'interaction entre des centres de population est proportionnelle aux forces démographiques entre ces centres (définies comme le produit de leur masses de population) et inversement proportionnelle à la distance entre ces zones.

Les modèles peuvent prendre de multiples formes. Une formulation générale s'écrit :

$$I_{ij} = k(P_i P_j)^a / d_{ij}^b$$

avec :

- $I_{ij}$  le niveau d'interaction entre les zones  $i$  et  $j$
- $P_i$  et  $P_j$  les populations des zones  $i$  et  $j$
- $k$  un coefficient
- $d_{ij}$  la distance entre  $i$  et  $j$
- $a$  et  $b$  des paramètres

Le modèle gravitaire est utilisé dans diverses sciences sociales et notamment en géographie et en économie. Dans le domaine des transports il sert à décrire et prédire le trafic entre deux zones. De nombreuses estimations attribuant aux paramètres  $a$  et  $b$  une valeur respectivement de 1 et 2, un modèle simplifié d'estimation de trafic entre deux zones  $i$  et  $j$  peut s'écrire :

$$T_{ij} = k O_i D_j f(C_{ij})$$

avec :

- $T_{ij}$  le niveau de trafic entre les zones  $i$  et  $j$
- $O_i$  un facteur d'émission de la zone origine  $i$
- $D_j$  un facteur d'attraction de la zone de destination  $j$
- $f(C_{ij})$  une fonction de résistance de forme décroissante
- $C_{ij}$  le coût généralisé du transport entre les zones  $i$  et  $j$

A partir d'un tel modèle, il est possible de contraindre ou non les trafics. Le modèle est simplement contraint lorsque les trafics sortant ou entrant dans une zone sont fixés et doublement contraint lorsque les deux types de

trafics sont fixés. Ainsi, comme le soulignent Bonnafous et Masson [21], ce modèle est fondé sur l'hypothèse implicite que les zones  $i$  et  $j$  présentent les mêmes caractéristiques (économiques, démographiques...). Dans la réalité, des effets de concurrence pouvant exister, il convient d'imposer une double contrainte sur la somme des émissions et des attractions.

L'un des atouts des modèles gravitaires, à savoir leur « multi-disciplinarité », constitue également leur principale faiblesse. Si les concepts d'interaction, de distances ou de taille peuvent être facilement manipulés, ils sont génériques et correspondent à des réalités très différentes selon les disciplines. Selon Masson, « bien que le système fonctionne convenablement dans les applications statistiques et économétriques, sa déduction par analogie d'une théorie conçue dans une autre discipline pour expliquer des phénomènes territoriaux a été longtemps considérée comme une faiblesse intrinsèque ». De la diversité des utilisations de ces modèles résulte une diversité d'approches théoriques.

Sen et Smith [154] recensent trois grandes approches : les théories déterministes, les théories probabilistes et les théories minimales. Les premières renvoient à l'idée de modéliser les interactions spatiales à partir des théories micro-économiques, à savoir que le consommateur maximise son utilité sous une contrainte budgétaire donnée. La seconde se réfère notamment aux travaux de Wilson développés ci-après. Elle vise davantage à expliciter les comportements collectifs que les comportements individuels. La troisième approche prend le contre-pied des deux précédentes. Les deux premières approches partaient des comportements (individuels ou collectifs) pour parvenir à leur représentation. A l'inverse, les théories minimales recherchent les conditions permettant la réalisation du modèle, d'où leur appellation. Exceptés les travaux de Wilson, ces différentes théories fondées sur les modèles gravitaires ne seront pas développées au cours de notre travail.

### II.3.2 Les mesures gravitaires de l'accessibilité : présentation générale

A partir des travaux d'Hansen, l'accessibilité gravitaire peut être envisagée comme un potentiel d'opportunités susceptible d'être atteint par un individu. Hansen conçoit ainsi l'accessibilité comme une mesure de la séparation spatiale des activités autour d'un point, ajustée par la capacité et la volonté des individus, ou des firmes, de franchir cette barrière spatiale. Ainsi selon

Bloy *et al.* [19] l'accessibilité gravitaire « repose sur l'idée que la répartition des trafics entre zones dépend des « masses attractives » de chaque zone et des difficultés de liaisons entre les centroïdes ». L'accessibilité depuis la zone  $i$  aux emplois localisés dans la zone  $j$ , est donc directement proportionnelle au nombre d'emplois de la zone  $j$  et inversement proportionnelle à la distance séparant les deux zones [118]. L'accessibilité gravitaire apparaît donc comme le produit de deux facteurs antagonistes que sont la présence d'opportunités (emplois, logements, lieux de loisirs), qualifiées « d'éléments moteurs du déplacement », et le coût du déplacement (distance, temps généralisé ou coût généralisé) envisagé comme « l'élément résistant du déplacement » (Koenig [105]). On retrouve ainsi une certaine analogie entre ces mesures de l'accessibilité et le modèle gravitaire issu de la loi de la gravitation universelle de Newton, cette dernière stipulant que deux corps de masses différentes s'attirent avec une force proportionnelle à chacune des masses, et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. De façon générale, l'accessibilité gravitaire prend la forme suivante :

$$A_i = \sum_j D_j f(c_{ij})$$

avec

- $A_i$  l'accessibilité depuis la zone  $i$
- $D_j$  les opportunités présentes dans la zone  $j$
- $f(c_{ij})$  une fonction de résistance au coût du déplacement

### II.3.3 Le choix de la fonction de résistance

Parmi les questions soulevées par l'utilisation des mesures gravitaires d'accessibilité, le choix de la fonction de résistance fait débat [156]. La littérature fait état de deux types de fonctions principalement utilisées : la fonction puissance et la fonction exponentielle [87],[91]. Geurs et Ritsema Van Eck [78] mentionnent également l'utilisation des fonctions Gaussienne et logistique. Si l'on se réfère aux commentaires de Fotheringham et O'Kelly [70], le choix de l'une ou l'autre des fonctions s'opère, de façon générale, au regard de quatre points principaux :

- la question de la comparabilité des paramètres de résistance,
- la question de la croissance attendue des coûts,

- le comportement des deux fonctions lorsque le coût tend vers 0,
- la question de l'agrégation des déplacements individuels.

La forme fonctionnelle utilisée revêt une grande importance lorsqu'il est nécessaire d'appliquer le modèle à une autre échelle que celle pour laquelle il a été calibré ou bien lorsque les coûts de transport ne sont pas exprimés dans la même unité. Les deux auteurs démontrent ainsi, au travers d'un exemple sur le passage des coûts de transport de pounds en dollars, que le paramètre de résistance reste identique avec une fonction puissance, ce qui n'est pas le cas avec une fonction exponentielle. Ils soulignent qu'il n'est, de ce fait, pas possible d'utiliser un modèle gravitaire, avec une fonction exponentielle négative, calibré sur une agglomération de grande taille sur une agglomération de taille plus petite.

La croissance anticipée des coûts de transport peut elle aussi favoriser l'utilisation de l'une ou l'autre des fonctions. D'après Evans (1970) repris par Fotheringham et O'Kelly :

- **Si** la croissance des coûts modifie la matrice des déplacements et **si** ...
  - l'accroissement des coûts est multiplicatif **alors** la fonction exponentielle est préférable.
  - l'accroissement des coûts est additif **alors** la fonction puissance est préférable.
- **Si** la croissance des coûts ne modifie pas la matrice des déplacements et **si** ...
  - l'accroissement des coûts est multiplicatif **alors** la fonction puissance est préférable.
  - l'accroissement des coûts est additif **alors** la fonction exponentielle est préférable.

La question de la forme fonctionnelle devient plus critique lorsque le coût tend vers zéro. En effet, lorsque le coût tend vers zéro la fonction puissance tend vers l'infini alors que la fonction exponentielle tend vers 1. La fonction puissance tend alors à surestimer les coûts extrêmes (coûts très faibles ou très élevés).

La dernière question soulevée par Choukroun [41] et reprise par Fotheringham et O'Kelly s'intéresse à la question de la sommation des déplacements dans la matrice de déplacements. Du fait de la constance du paramètre de

résistance d'une fonction puissance (cf. 1ère question soulevée), l'utilisation de cette dernière est préférable lorsque les déplacements sont réalisés par des individus issus d'un groupe hétérogène. A l'inverse, si les groupes d'individus sont homogènes, la fonction exponentielle est plus appropriée.

De ces quatre grandes questions permettant d'alimenter le débat sur l'utilisation d'une fonction puissance ou exponentielle, un consensus semble se dessiner (Hansen préconisait déjà en 1959 l'utilisation de la fonction exponentielle). Tandis que la fonction puissance semble plus pertinente dans le cadre de déplacements longs, la fonction exponentielle est davantage appropriée dans le cadre de déplacements de courte distance et donc des déplacements urbains.

### II.3.4 Les limites de la formule

Les mesures gravitaires de l'accessibilité font l'objet d'un certain nombre de critiques dans la littérature [78]. Parmi les critiques les plus fréquemment adressées on recense la sur-valorisation des zones à fort potentiel interne, la non prise en compte des caractéristiques individuelles ainsi que l'absence d'effets de compétition. Nous nous proposons dans cette sous-section d'examiner plus en détail chacune de ces limites et d'envisager les solutions possibles pour les lever.

Une des critiques régulièrement formulée concerne la forte sensibilité des résultats à la taille et à la configuration des zones. En considérant des zones de grande taille, on s'expose au risque de donner un poids trop important aux opportunités internes et de pondérer fortement, de fait, les zones avec un « fort potentiel interne ». Dès lors une possibilité avancée par Frost et Spence [74] consiste à travailler à un niveau zonal très fin afin de limiter l'impact des opportunités internes à la zone d'origine  $i$ . Une autre solution serait de ne pas considérer la zone  $i$  dans le calcul de l'accessibilité ou bien de ne plus envisager le territoire comme un ensemble de points discrets mais comme un espace continu (Bröcker [28]). Les opportunités seraient alors réparties en fonction de leur densité dans les zones « initiales ».

L'accessibilité gravitaire représentant l'accès potentiel à un ensemble d'opportunités depuis un lieu donné, il lui est reproché d'avoir une valeur unique pour l'ensemble des individus de la zone concernée sans tenir compte des caractéristiques individuelles (Ben-Akiva, Lermann [16] et Dong *et al.* [60]).

Cette limite peut être levée en menant une analyse désagrégée en fonction des caractéristiques socioéconomiques des individus [175].

Une troisième critique souligne l'absence d'effets de concurrence entre l'offre d'opportunités (par exemple, les emplois) et la demande pour ces opportunités (par exemple, les individus susceptibles d'occuper un emploi). Or, dans la réalité il n'est pas rare d'observer une urbanisation hétérogène qui conduit, dans notre exemple, à une offre de travail ou d'emploi excédentaire au regard des demandes respectives. Dès lors afin de rendre compte des distributions spatiales hétérogènes et des effets de concurrence qu'elles génèrent, l'utilisation d'un modèle gravitaire contraint s'avère nécessaire [142]. Bonnefous et Masson [21] développent la proposition de Wilson [178] pour lever l'absence d'effets de concurrence.

\*  
\* \*

Au cours de cette deuxième section, nous nous sommes attachés à présenter une approche agrégée de l'accessibilité au travers de mesures considérant l'espace comme un élément central de l'accessibilité. Par le terme générique d'espace, sont sous-entendus les systèmes de localisations et de déplacements. Bien que de telles mesures d'accessibilité puissent s'appliquer à des groupes d'individus différenciés en fonction des opportunités qui les attirent (étudiants, actifs, consommateurs...) ou de leur caractéristiques (possession ou non d'une voiture, lieu de résidence...), elles n'ont pas vocation à intégrer les comportements individuels mais davantage à évaluer l'impact d'une modification du système de transport ou de localisation sur le niveau d'offre global. Cette caractéristique a valu à ce type d'approche de nombreuses critiques. La troisième section se propose alors de lever les limites inhérentes à l'approche agrégée en présentant des mesures d'accessibilité construites sur la base des comportements individuels.

### III Les comportements individuels comme mesure de l'accessibilité : une approche désagrégée de l'accessibilité

Cette troisième section est le pendant de la précédente. Tandis que la seconde section nous a permis de recenser les mesures de l'accessibilité faisant l'objet d'une approche agrégée, nous nous intéressons dans cette section à l'approche désagrégée de l'accessibilité. Celle-ci fait référence aux mesures établies à partir des comportements individuels. Dès lors, l'accessibilité varie en fonction des individus, de leur comportement voire de l'utilité qu'ils attribuent à chacune des activités qu'ils réalisent. Ainsi, dans cette section seront présentées trois approches qui, bien que différentes, se révèlent complémentaires. La première approche nous vient de la géographie et plus particulièrement de la *time-geography*. Elle nous enseigne comment les contraintes spatio-temporelles influencent l'emploi du temps des individus et, de ce fait, leur niveau d'accessibilité. La seconde approche, plus familière aux économistes, envisage l'accessibilité comme l'utilité espérée maximale d'une alternative. Elle repose sur des fondements micro-économiques. La complémentarité de ces deux premières mesures (ainsi que des mesures gravitaires) est mise en évidence par les travaux de Miller qui développe des mesures spatio-temporelles de l'accessibilité (appelées STAM).

#### III.1 Les mesures issues de la *time-geography* : une approche à partir des contraintes

Les travaux issus de la *time-geography* se développent dans le but d'éluder une part des limites inhérentes aux mesures gravitaires, en intégrant notamment certaines caractéristiques individuelles ainsi que les contraintes associées à la réalisation d'un programme d'activités. Dans cette optique, l'accessibilité est analysée à l'échelle de l'individu (ou éventuellement du ménage) en observant comment ce dernier peut réaliser son programme d'activités compte tenu des contraintes spatiales et temporelles qui réduisent sa « marge de manœuvre ». Un poids équivalent est attribué aux composantes temporelle et spatiale. Des prismes spatio-temporels sont ainsi utilisés pour représenter les itinéraires des individus dans l'espace et le temps. Burns [29] souligne que les mesures spatio-temporelles évaluent l'accessibilité individuelle en délimitant le prisme spatio-temporel. Ce dernier est déterminé



par la localisation des diverses activités, les distances entre ces localisations, le temps disponible pour le transport et la réalisation des activités ainsi que les vitesses. L'accessibilité est alors mesurée par le « volume » d'opportunités pouvant être atteint (ou le nombre de programmes d'activités réalisables) étant donnée la contrainte temporelle.

### III.1.1 Développements successifs : des prismes spatio-temporels à la « geocomputation »

L'approche de l'accessibilité à partir des contraintes trouve son origine dans les travaux d'Hägerstrand initiés dès les années 1970 [83]. L'auteur développe l'idée d'une interaction forte entre le temps et l'espace dans le cadre de la réalisation d'activités. Il démontre ainsi que la réalisation d'activités ne résulte pas d'un choix autonome et indépendant de la part des individus mais que ces derniers sont au contraire guidés par des contraintes spatio-temporelles. Pour ce faire, Hägerstrand construit un prisme spatio-temporel (appelé *Space-Time Prism* ou *Potential Path Space* (PPS)) : tandis que l'espace est représenté sur un plan à deux dimensions, le temps est indiqué sur la troisième dimension. Ce prisme limite alors l'ensemble des trajectoires possibles en tenant compte des contraintes d'espace et de temps.

Reprenant le concept du prisme spatio-temporel, Lenntorp [115] l'enrichit en lui associant des mesures d'accessibilité. Il envisage alors l'accessibilité comme la projection du prisme spatio-temporel à trois dimensions sur un plan à deux dimensions. On passe du prisme spatio-temporel au *Potential Space Area* (PPA). En développant le modèle PESAP (Program Evaluating the Set of Alternative Sample Path), il rend opérationnelles les avancées théoriques développées par Hägerstrand. Lenntorp estime le nombre de « trajectoires spatio-temporelles » qu'un individu peut emprunter étant donné le programme d'activités à réaliser ainsi que la durée de réalisation de chacune des activités, le système de transport et la localisation des activités.

Parallèlement aux travaux de Lenntorp, Burns [29] développe l'aspect accessibilité des modèles spatio-temporels en évaluant notamment l'impact de la configuration du réseau de transport, des vitesses de déplacement ainsi que de la flexibilité des emplois du temps sur le volume du prisme spatio-temporel. Il considère de fait l'accessibilité comme « la liberté des individus de participer à différentes activités et, avec l'aide du prisme spatio-temporel,

d'envisager la dépendance de l'accessibilité à ses composantes de transport, de temps et d'espace ». Burns utilise les prismes spatio-temporels pour mesurer les bénéfices retirés par les individus de la localisation des activités et de l'itinéraire emprunté (locational and route benefits). L'accessibilité dépend donc des distances séparant les activités, du temps consacré à chacune d'elles mais également des hypothèses émises sur l'intérêt que portent les individus aux différentes activités qu'ils peuvent atteindre. Ces travaux ont notamment été utilisés afin d'envisager l'impact d'une modification d'emploi du temps (en termes de choix de transport mais aussi de périodes de déplacements et de localisation des activités) sur l'accessibilité. C'est ainsi que Burns a montré que des emplois du temps flexibles permettaient aux individus de maximiser leur accessibilité (par le biais du prisme spatio-temporel) en se déplaçant à certaines heures de la journée.

Les travaux sur l'accessibilité issus de la *time-geography* ont pris un nouvel envol dans les années 1990 grâce notamment aux travaux de Miller et Kwan. Outre le développement d'une approche composite de l'accessibilité (cf. section III.2), les travaux de Miller portent essentiellement sur la représentation des « environnements spatio-temporels » [128]. Il répond ainsi à une des critiques émises à l'encontre de ces mesures d'accessibilité. En effet, bien que reposant sur des bases théorique solides, les mesures spatio-temporelles de l'accessibilité se révèlent difficiles à mettre en œuvre. Pour franchir cet obstacle, Miller mobilise en 1991 [126] les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et développe les concepts de *Network Time Prism* (NTP) et de *Potential Path Tree* (PPT). Adaptant l'idée du prisme spatio-temporel aux contraintes du réseau de transport, un NTP est un prisme spatio-temporel défini dans un réseau avec des temps de déplacement constants. A l'intérieur de ce prisme, les nœuds du réseau accessibles compte tenu des contraintes constituent le *Potential Path Tree*. Malgré l'apport des NTP dans la représentation de l'accessibilité, la constance des vitesses et la non prise en compte de la congestion restent deux des principales faiblesses de l'apport de Miller. Dès lors ce dernier envisage un *Dynamic Network Time Prism* (DNTP), autrement dit, un prisme spatio-temporel intégré à un réseau de transport dans lequel les vitesses sont flexibles [129]. Un *dynamic potential path tree* est associé afin de montrer les variations d'accessibilité dans l'espace en fonction de l'heure de départ et de la congestion.

Les apports de Miller ont été enrichis par les travaux de Kwan. Dès 1998,

Kwan propose des mesures d'accessibilité grâce à l'utilisation de la « geo-computation » [107] et à l'intégration de contraintes cognitives [110] (développement d'algorithmes couplés à un SIG). Les résultats sont probants : ils révèlent des disparités d'accessibilité selon le genre ou l'ethnie, parfois au sein d'un même ménage. Par la suite, de nouveaux algorithmes sont développés [172][173] afin d'intégrer les variations de vitesses (en fonction de l'heure de la journée ou du lieu). Une troisième génération d'algorithmes [103], caractérisée par une meilleure prise en compte des variations de vitesses, permet de déterminer non seulement le nombre d'opportunités accessibles mais également le temps que l'individu peut consacrer à chaque activité (en tenant compte, par exemple, des heures d'ouverture des différentes activités, du temps minimal à consacrer pour chaque activité, d'un seuil de temps de déplacement à ne pas dépasser, des éventuels retards). Parallèlement Kwan s'attache à la geovisualisation des mesures d'accessibilité. Si la notion d'aquarium spatio-temporel a été développée par Hägerstrand dès 1970, elle n'a été réellement mise en œuvre qu'à partir de 1999 [108]. N'intégrant pas, dans un premier temps, les caractéristiques du réseau routier, les « 3-D space-time » ont été couplés à des données collectées par GPS. Toutefois Kwan [109] mentionne les nombreuses difficultés liées à une geovisualisation en trois dimensions. Aux barrières techniques (liées notamment à la conversion des données en trois dimensions), il faut ajouter les difficultés de visualisation des schémas d'activités.

### III.1.2 Les limites de ces mesures

Outre les difficultés liées à la mise en œuvre des prismes spatio-temporels, évoquées précédemment, on recense dans la littérature deux principales critiques émises à l'encontre de ce type de mesures : leur approche désagrégée et l'absence d'effets de compétition liée à une approche basée sur la demande. De fait, les mesures spatio-temporelles de l'accessibilité rendent compte de l'accessibilité au niveau individuel [127] et nécessitent une collecte de données importante. Par conséquent les mesures sont réalisées à de petites échelles et ne peuvent être menées sur une population importante. Or, l'une des finalités des mesures d'accessibilité que constitue l'évaluation d'une politique de transport, et l'identification des gagnants et des perdants, ne peut être atteinte par des mesures désagrégées. La seconde limite concerne le fait que cette mesure soit orientée du côté de la demande. Tout comme pour les mesures gravitaires, les mesures spatio-temporelles excluent tout effet de concurrence

entre l'offre et la demande. Geurs et Ritsema [78] nuancent toutefois cette critique dans la mesure où les prismes spatio-temporels ne sont pas uniquement utilisés pour mesurer l'accessibilité aux emplois, là où précisément les effets de concurrence sont les plus importants.

## III.2 Les mesures basées sur l'utilité

L'évocation des mesures basées sur l'utilité fait, en premier lieu, penser aux travaux de Ben Akiva et Lerman [16] ainsi qu'à ceux de Domencich et Mac Fadden [59]. Ces auteurs formalisent l'idée que l'accessibilité dépend de la perception qu'ont les individus des alternatives qui s'offrent à eux, à partir de la théorie de l'utilité aléatoire. Bien que moins abordés dans la littérature (anglo-saxonne notamment), les travaux menés par Koenig dans le cadre de la « théorie économique de l'accessibilité urbaine » [105], [106] avaient amorcés ce raisonnement quelques années auparavant. Dès lors, après avoir présenté dans un cadre général les mesures basées sur l'utilité, nous développerons la théorie économique de l'accessibilité urbaine.

### III.2.1 Présentation générale

Ces mesures, développées à partir des années 1970 grâce notamment à Ben-Akiva et Lerman [16], reposent sur la théorie de l'utilité aléatoire (Random Utility Theory). Dans ce cadre, l'accessibilité est non pas interprétée comme un volume potentiel d'opportunités mais comme le résultat du choix d'une alternative parmi d'autres, chaque individu sélectionnant l'alternative lui offrant le niveau d'utilité le plus élevé. L'accessibilité est alors envisagée comme l'espérance de l'utilité maximale que retire un individu de l'alternative choisie. Ainsi comme le soulignent Ben Akiva et Lermann [16], l'accessibilité est une mesure composite décrivant les caractéristiques d'un ensemble d'alternatives offertes à un individu telles qu'elles sont perçues par cet individu. Elle dépend donc à la fois des différentes alternatives ainsi que de leur perception par chaque individu.

Soit  $C_t$  un ensemble d'alternatives offertes à l'individu  $t$ . A chacune de ces alternatives, l'individu associe un niveau d'utilité et choisit l'alternative qui maximise son utilité. Ben-Akiva et Lerman envisagent le cas pour lequel l'accessibilité est dérivée d'un modèle logit multinomial. L'accessibilité pourrait

donc s'écrire :

$$A_t = \text{Max}U_{it}$$

avec  $i \in C_t$

Toutefois, l'utilité n'étant pas connue avec certitude, elle est considérée comme une variable aléatoire et n'est donc pas directement mesurable. L'utilité se compose en effet de deux éléments : d'une part, la composante déterminée notée  $V_{in}$ , autrement dit les attributs observables concernant les caractéristiques des individus (revenu, variables socio-démographiques) et des différentes alternatives (mode de transport, vitesse, coût généralisé), d'autre part un élément inobservable noté  $\epsilon_{in}$ , appelé « trouble » ou « utilité résiduelle ». Au regard de l'additivité des deux composantes de l'utilité, l'utilité  $U_{in}$  associée par un individu  $n$ , à une alternative  $i$  peut s'écrire :

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in}$$

Afin de déterminer l'accessibilité, nous posons les hypothèses suivantes :

- l'utilité résiduelle est considérée comme identique pour chaque alternative
- la composante déterminée de l'utilité et l'utilité résiduelle sont deux distributions de Gumbel<sup>7</sup> indépendantes

Dès lors, au regard des propriétés de la distribution de Gumbel<sup>8</sup>, l'accessibilité d'un individu  $t$  s'écrit :

$$A_t = E(\text{Max}U_{it})$$

$$E(\text{Max}U_{it}) = \frac{1}{\mu} \ln \sum_{i \in C_n} \exp(\mu V_{it})$$

---

<sup>7</sup>La loi de Gumbel est une loi d'une variable aléatoire continue utilisée pour la distribution des valeurs extrêmes. La distribution de Gumbel de paramètres  $(\eta; \mu)$  est donnée par  $F(x) = \exp[-e^{-\mu(\epsilon-\eta)}]$ , avec  $\mu > 0$  et sa fonction de densité s'écrit  $f(\epsilon) = \mu * e^{-\mu(\epsilon-\eta)} \exp[-e^{-\mu(\epsilon-\eta)}]$ .

<sup>8</sup>Propriété 1 : si  $\epsilon$  est une distribution de Gumbel de paramètres  $(\eta; \mu)$ , et  $A$  et  $B > 0$  deux constantes alors  $A\epsilon + b$  est une distribution de Gumbel de paramètres  $(B\eta + a; \mu/B)$ . Propriété 2 : si  $\epsilon_1$  et  $\epsilon_2$  sont deux distributions de Gumbel indépendantes de paramètres  $(\eta_1; \mu)$  et  $(\eta_2; \mu)$  alors  $\max(\epsilon_1, \epsilon_2)$  est une distribution de Gumbel de paramètres  $(\frac{1}{\mu} \ln(e^{\mu\eta_1} + e^{\mu\eta_2}), \mu)$ . Propriété 3 : l'espérance mathématique de la distribution de Gumbel de paramètres  $(\eta; \mu)$  est donnée par la valeur du paramètre  $\eta$ .

### III.2.2 Atouts et limites de la mesure

Cette mesure de l'accessibilité présente l'avantage d'avoir un fondement microéconomique et d'être cohérente avec la théorie du surplus du consommateur. Contrairement aux mesures gravitaires de l'accessibilité qui reflètent seulement l'accessibilité depuis un lieu, cette mesure prend également en compte les caractéristiques individuelles [78]. Par ailleurs, exprimée en unités monétaires, cette mesure permet d'effectuer des comparaisons inter-individuelles (toutes choses étant égales par ailleurs).

En dépit de leurs « atouts », les mesures basées sur l'utilité nécessitent un besoin important de données en termes de localisation mais surtout de comportement des individus ainsi que des alternatives qui s'offrent à eux. De plus, ces mesures semblent difficiles à interpréter et ce, d'autant plus lorsque les individus présentent des fonctions d'utilité différentes. Enfin, certains auteurs comme Sweet [161] soulignent le problème du manque de différenciation entre l'élément résistant et l'élément moteur du déplacement.

Les travaux menés par Ben-Akiva et Lerman à partir de la théorie des choix discrets ne sont pas les premiers à être publiés. Ils s'appuient sur les propositions faites par Koenig en 1974 dans le cadre de la théorie économique de l'accessibilité urbaine. Koenig développe dans sa théorie une mesure de l'accessibilité à partir de l'utilité que les individus associent à chaque alternative.

### III.2.3 La théorie économique de l'accessibilité urbaine comme exemple de modèle de choix discret

Koenig développe la théorie économique de l'accessibilité urbaine à partir d'hypothèses relevant de la théorie micro-économique du consommateur [105]. Il considère ainsi que l'individu associe une utilité brute à chaque destination dont il a connaissance. L'utilité brute « caractérise en termes économiques l'intérêt intrinsèque que l'individu attribue à la destination pour y exercer l'activité souhaitée : travail, achat, loisirs... ». Concrètement, si l'on se place dans le cadre de l'accessibilité aux emplois, l'individu associe à chaque possibilité d'emploi offert un revenu brut annuel ainsi que la probabilité qu'il a d'être engagé et des variables subjectives (convenances personnelles, intérêt du travail...). L'utilité brute d'une destination est une variable aléatoire de loi de distribution exponentielle négative. En effet, la

probabilité de trouver un revenu égal à  $x$  décroît rapidement lorsque  $x$  augmente. Parallèlement à cette utilité brute, l'individu associe à chaque destination (par exemple, lieu d'emploi) un coût généralisé du déplacement étant données les particularités de sa situation. On peut définir le coût généralisé d'un déplacement comme la somme du prix monétaire du voyage et du temps généralisé pondéré par la valeur moyenne du temps ressenti par l'utilisateur. Dès lors, à chaque destination l'individu associe une utilité nette, différence entre l'utilité brute et le coût généralisé du déplacement.

Des hypothèses concernant le comportement de l'utilisateur d'une part, et la distribution probabiliste de l'utilité brute, d'autre part, peuvent être déduits les résultats suivants. L'utilité nette moyenne que peut retirer d'un déplacement un individu résidant dans la zone  $i$  s'écrit :

$$U_i = x_0 \log A_i$$

avec

$$A_i = \sum_{j=1}^n E_j \exp^{-\frac{c_{ij}}{x_0}}$$

$E_j$  le nombre d'emplois et  $x_0$  un paramètre

A partir de cette théorie, il est possible de déterminer la probabilité  $P_j$  pour que la destination qui procure la meilleure utilité à l'individu se trouve dans la zone  $j$ , autrement dit la probabilité de choix d'une destination  $j$  par un individu. Cette probabilité prend la forme d'un modèle de choix discret à utilité aléatoire :

$$P_j = \frac{E_j \exp^{-\frac{c_{ij}}{x_0}}}{\sum_{k=1}^n E_k \exp^{-\frac{c_{ik}}{x_0}}}$$

$E_k$  appartenant à  $J$ , l'ensemble des zones de l'aire d'étude

On retrouve d'ailleurs, par ce résultat, la formule du modèle gravitaire, ce qui renforce l'hypothèse d'une distribution gravitaire du trafic.

Ce modèle dérivé de la théorie économique de l'accessibilité urbaine peut être interprété comme un modèle logit multinomial où l'utilité que retire un individu de son déplacement dans la zone  $j$ , pour satisfaire un besoin donné est :

$$u_i^j = c_0 \ln(E_j) - c_{ij} + \epsilon_j^i$$

La théorie économique de l'accessibilité urbaine peut être considérée comme un cas particulier de mesures basées sur l'utilité individuelle. Associée à sa composante gravitaire pour le calcul de l'accessibilité, elle a été principalement utilisée dans le cadre de la planification urbaine et constitue selon son auteur une « clé de voûte des modèles de prévision de trafic ». Les mesures gravitaires, les mesures basées sur les contraintes et celles intégrant l'utilité individuelle ont vu le jour entre 1950 et 1980. A la fin des années 90, Miller tente d'associer ces trois approches dans le cadre des mesures spatio-temporelles de l'accessibilité.

### III.3 L'approche composite de Miller

Les mesures spatio-temporelles de l'accessibilité (STAM) développées par Miller à la fin des années 1990 [127] tentent de réconcilier les trois grandes approches de l'accessibilité présentes dans la littérature à savoir l'approche basée sur les contraintes, les mesures gravitaires et les mesures basées sur l'utilité. Les STAM reflètent l'utilité procurée par la réalisation d'une série d'activités discrétionnaires étant données la réalisation d'activités « fixes » et les contraintes temporelles qui leur sont liées. Les STAM fournissent de ce fait des mesures explicites aux bénéfices dérivés de l'accessibilité. Dès lors, après avoir présenté les trois grands types de mesures spatio-temporelles de l'accessibilité, nous monterons que, malgré leur intérêt, ces indicateurs présentent encore des faiblesses.

#### III.3.1 Présentation générale

Pour réunir les trois grandes mesures de l'accessibilité susmentionnées, Miller mobilise une fonction d'utilité individuelle, d'une part, et l'approche axiomatique de Weibull, d'autre part. La fonction d'utilité individuelle spatio-temporelle, développée par Burns [29] puis Hsu et Hsieh (cités in [127]) constitue le point de départ des travaux de Miller sur les STAM. Cette fonction est enrichie pour définir implicitement un prisme spatio-temporel en considérant l'attractivité de chaque opportunité, le temps de transport nécessaire pour l'atteindre ainsi que le temps disponible pour la réaliser. Elle s'écrit de la façon suivante :



$$u_{ij}(a_k, T_k, t_k) = a_k^\alpha T_k^\beta \exp(-\lambda t_k)$$

avec

- $u_{ij}$  l'utilité procuré par la réalisation d'une activité discrétionnaire  $k$ , étant données les activités fixes  $i$  et  $j$
- $a_k$  l'attractivité de la localisation de l'attractivité discrétionnaire  $k$
- $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\lambda$  représentent respectivement les effets de l'attractivité, du temps de participation à l'activité et du temps de transport sur l'utilité
- $t_k$  le temps de transport pour quitter et rejoindre les activités « fixes »  $i$  et  $j$ . Soit  $t_k = (d(x_i, x_k) + d(x_k, x_j))v^{-1}$
- $x_i$  un vecteur de localisation d'une activité fixe  $i$
- $d(x_i, x_k)$  la distance entre  $i$  et  $k$
- $v$  la vitesse de déplacement constante
- $T_k$  la durée de réalisation de l'activité  $k$  avec  $T_k = t_j - t_i - t_k > 0$ , sinon 0
- $t_i$  et  $t_j$  respectivement l'heure de fin de l'activité fixe  $i$  et l'heure de départ de l'activité fixe  $j$

A partir de cette équation, Miller développe trois mesures d'accessibilité reflétant les bénéfices retirés du prisme spatio-temporel défini par les localisations des activités fixes, un budget temps et une vitesse de déplacement constantes. Chacune de ces mesures vérifie les axiomes de Weibull (axiomes développés sous-section IV.1).

La première mesure développée par Miller correspond à une approche en termes de surplus de l'utilisateur (cf. sous-section IV.2.1), cohérente avec les concepts d'utilité aléatoire. Elle reflète l'utilité maximale attendue procurée par les opportunités présentes dans le prisme spatio-temporel.

$$AM_1 = \frac{1}{\lambda} \ln \sum_{k=1}^m \exp(a_k^\alpha T_k^\beta \exp(-\lambda t_k))$$

Les deux mesures suivantes ont été obtenues en appliquant une transformation (transformation de Wilson) sur la fonction initiale. Elles correspondent aux bénéfices retirés de la localisation des activités dans le prisme spatio-temporel. Tandis que la mesure  $AM_2$  reflète l'ensemble des choix, la mesure  $AM_3$  suit l'hypothèse qu'un individu ne considère que les choix qui

maximisent son utilité.

$$AM_2 = \sum_{k=1}^m b_k$$

$$AM_3 = \max_k [b_k]$$

avec

- $b_k = 0$  si  $a_k = 0$  ou  $T_k = 0$ , sinon
- $b_k = \exp \left[ \lambda \left( \frac{\alpha}{\lambda} \ln a_k + \frac{\beta}{\lambda} \ln T_k - t_k \right) \right]$

### III.3.2 Atouts et limites

Les atouts des mesures composites de l'accessibilité résident principalement dans leur diversité. En prenant de multiples formes, elles envisagent l'ensemble des approches possibles [11]. On ne peut, dès lors, leur reprocher de ne prendre en compte que des aspects partiels de l'accessibilité. De cet atout majeur naît une limite importante. De telles mesures semblent difficiles à mettre en œuvre [129] tant elles nécessitent un besoin important de données que ce soit en termes de comportement individuel, d'offre des différentes alternatives, de localisation des activités... Pour résumer, ces mesures composites qui réconcilient les trois grands types d'indicateurs d'accessibilité en présentent simultanément l'ensemble des avantages mais aussi des faiblesses.

\*

\* \*

Après avoir présenté les mesures de l'accessibilité répondant à une approche agrégée dans la section précédente, nous nous sommes intéressés dans cette section aux indicateurs d'accessibilité basés sur une approche désagrégée, c'est-à-dire considérant les comportements et les choix individuels. Tandis que l'approche agrégée est plutôt orientée du côté de l'offre, celle-ci s'inscrit davantage du côté de la demande. Trois mesures ont été développées. La première s'attache à prendre en compte les contraintes spatio-temporelles auxquelles sont confrontés les individus. Développée dès les années 60, elle n'a cessé d'être enrichie jusqu'à aujourd'hui. Apparues quelques années après, les mesures issues de la théorie des choix discrets (ou utility-based accessibility measures) intègrent les préférences individuelles et la maximisation de l'utilité comme déterminant de l'accessibilité. La complémentarité de ces deux

indicateurs est associée aux mesures gravitaires, présentées dans la section précédente, par Miller pour amorcer le développement des mesures composites. Ces mesures sont à ce jour celles qui représentent le mieux l'accessibilité dans toutes ses composantes en raison de leur approche plurielle. Toutefois, si cette approche plurielle ouvre une nouvelle voie dans la mesure de l'accessibilité, elle peine à se détacher des limites inhérentes aux mesures « comportementales », à savoir à un besoin de données importantes pour une mise en œuvre concrète. Aussi, dans la section suivante nous semble-t-il nécessaire de nous focaliser sur un indicateur pouvant être directement mobilisable dans une étude de cas, et de le confronter à l'épreuve de la théorie...

## IV Fondements théoriques aux mesures d'accessibilité gravitaires

Face à la diversité des approches de l'accessibilité, il convient d'aborder la question de leur pertinence. Soulignons à la suite de Handy et Niemer [86] qu'il n'y a pas de bonne mesure de l'accessibilité mais une variété de situations et d'objectifs qui nécessitent chacun une mesure appropriée. Dès lors, même si au cours des deux sections précédentes nous avons analysé les atouts et limites des différentes approches en fonction d'objectifs définis, il ne nous appartient pas de juger dans un cadre général de la « supériorité » de l'une ou l'autre approche. La littérature propose divers critères d'évaluation [18], [77]. Suivant la proposition de Morris *et al.* [136], nous pouvons regrouper ces propriétés en quatre grandes catégories :

- les mesures d'accessibilité doivent incorporer un élément de séparation spatiale qui traduit les changements en termes de performance du système de transport,
- les mesures d'accessibilité doivent être cohérentes avec les modèles de comportements,
- les mesures d'accessibilité doivent être techniquement réalisables et leur mise en œuvre aisée,
- les mesures d'accessibilité doivent être faciles à interpréter et à être traduites en termes de politiques urbaine ou de transport.

A partir de ces critères, nous avons choisi de développer dans la suite de notre travail les mesures gravitaires. Au-delà du respect des contraintes de Morris *et al.*, le premier critère de choix réside dans le double niveau d'ana-

lyse que nous souhaitons mettre en œuvre. De fait, notre objectif consiste à calculer les variations de surplus pour deux grandes catégories de la population active (les usagers des transports en commun et les automobilistes). Dans cette optique, orientée du côté de l'offre, seules les caractéristiques du système de transport associées au système de localisation nous importent.

L'objectif de cette section est d'assurer aux mesures gravitaires une justification théorique. Cette justification s'opère en deux temps. Tout d'abord nous mobilisons les axiomes de Weibull. Le respect de ces axiomes assure aux indicateurs d'accessibilité une cohérence et le respect des comportements individuels [127]. Ensuite, nous nous focalisons sur les modèles de demande de transport (desquels découlent les indicateurs d'accessibilité) afin d'envisager leur cohérence avec la théorie du comportement du consommateur et en particulier la théorie du surplus, traditionnellement utilisée en micro-économie.

## IV.1 Indicateur d'accessibilité gravitaire et respect des axiomes de Weibull

Weibull, en 1976, définit 6 axiomes [174] que doivent satisfaire les mesures d'accessibilité. Le cadrage proposé par Weibull permet de développer des mesures d'accessibilité cohérentes et respectant les comportements individuels. Pour chacun des axiomes, nous détaillerons son contenu et nous montrerons dans quelle mesure l'indicateur d'accessibilité gravitaire respecte les conditions.

*Axiome 1 : l'ordre des opportunités ne doit pas influencer sur la valeur de l'accessibilité (A1)*

Pour chaque configuration d'opportunités, on doit avoir :<sup>9</sup>

$$f[\langle (d_1, a_1); \dots; (d_k, a_k); \dots; (d_l, a_l); \dots; (d_n, a_n) \rangle] = f[\langle (d_1, a_1); \dots; (d_l, a_l); \dots; (d_k, a_k); \dots; (d_n, a_n) \rangle]$$

*Axiome 2 : la valeur de l'accessibilité ne doit pas augmenter avec une distance croissante (a) et ne doit pas diminuer avec un nombre d'opportunités*

---

<sup>9</sup>Chaque zone est caractérisée par une configuration  $\bar{x}$  autrement dit par la distance  $d_{ij}$  la reliant à la zone d'origine  $i$  et par le nombre d'opportunités  $a_j$  qu'elle offre. On note  $\bar{x} = \langle (d_k, a_k) \rangle_{k=1}^n$

croissant (b) (A2)

$$(a) d_k \leq d'_k \Rightarrow f[\langle (d_k, a_k) \rangle_{k=1}^n] \geq f[\langle (d'_k, a_k) \rangle_{k=1}^n]$$

$$(b) a_k \leq a'_k \Rightarrow f[\langle (d_k, a_k) \rangle_{k=1}^n] \geq f[\langle (d_k, a'_k) \rangle_{k=1}^n]$$

*Axiome 3 : une mesure d'accessibilité à une distance nulle doit être continue et croissante (A3)*

$$f[\langle (0, a) \rangle] \text{ est continue et croissante}$$

Cet axiome constitue un cas particulier de l'axiome 2.

*Axiome 4 : une seule opportunité à une distance nulle avec une attractivité infinie génère une plus grande accessibilité qu'un couple d'opportunités avec des attractivités finies (A4)*

$$f[\langle (d_1, a_1); (d_2, a_2) \rangle] < \lim_{a \rightarrow \infty} f[\langle (0, a) \rangle] \forall \langle (d_1, a_1), (d_2, a_2) \rangle$$

*Axiome 5 : l'accessibilité doit être nulle lorsque le nombre d'opportunités est nul (A5)*

$$(a) f[\langle (d, 0) \rangle \cup \bar{x}] = f[\bar{x}] \forall d, \bar{x}$$

$$(b) f[\langle (d, 0) \rangle] = 0 \forall d$$

*Axiome 6 : si deux couples  $(O, D)$  présentent une utilité équivalente alors le fait de rajouter une nouvelle opportunité ne change pas les préférences (A6)*

$$f[\bar{x}'] = f[\bar{x}'' ] \Rightarrow f[\bar{x}' \cup \bar{x}] = f[\bar{x}'' \cup \bar{x}] \forall \bar{x}$$

L'accessibilité gravitaire respecte les six axiomes de Weibull. Permuter l'ordre des opportunités ne modifie en rien le niveau d'accessibilité (respect de A1). De plus l'accessibilité est une fonction décroissante du coût et croît avec le nombre d'opportunités (respect de A2). Les axiomes 3 et 4 sont vérifiés considérant la fonction de restriction suivante dans le cadre de l'accessibilité gravitaire, qui s'applique dans le cadre d'une distance nulle :  $f_0 a = a$ . De même, dans le cadre d'un nombre d'opportunités égal 0, on a :  $f_a 0 = 0$ . L'axiome 5 est alors respecté. L'axiome 6 est également respecté : si  $f(A_{i1}) = f(A_{i2})$  alors  $f(A_{i1}) + x = f(A_{i2}) + x$ .

## IV.2 Indicateur d'accessibilité gravitaire et calcul économique

Etablir un lien entre théorie économique et accessibilité constitue une étape indispensable à l'utilisation d'un indicateur d'accessibilité pour évaluer l'utilité sociale d'un projet ou, plus généralement, d'une politique. Ainsi, après avoir rappelé dans un premier temps les concepts de base de la théorie du surplus, nous détaillerons par la suite les liens entre modélisation des comportements, accessibilité et surplus pour le modèle d'interaction spatiale gravitaire.

### IV.2.1 La théorie du surplus

La théorie du surplus fut initiée par Jules Dupuit, ingénieur des Ponts et Chaussées, au XIX<sup>ème</sup> siècle. Elle consiste à évaluer les avantages résultant d'un nouvel investissement en déterminant le surplus net dégagé. Appliquée au transport, la théorie du surplus permet ainsi de mesurer la variation de satisfaction générée par la mise en place d'une nouvelle infrastructure en comparant les situations *a priori* et *a posteriori*. La théorie du surplus s'inscrit dans le cadre de la théorie micro-économique classique. Elle part du principe que la collectivité cherche à maximiser une fonction de bien-être collectif  $W$  qui dépend de l'utilité de chaque agent  $U_i$  [131]. Dès lors, nous développons la théorie du comportement du consommateur et son application dans le cadre du calcul de surplus avant de nous intéresser à l'agrégation des utilités individuelles et à la variation de surplus collectif.

#### *La théorie du comportement du consommateur*

Selon Emile Quinet [144], la théorie du comportement du consommateur permet d'apprécier l'effet d'une redistribution des prix et des quantités sur l'utilité de chacun des individus qui composent la société considérée. Elle s'exprime par la variation d'utilité  $U_i$  de l'individu  $i$  entre l'état initial (indice 0) et l'état final (indice 1) :

$$\Delta U_i = U_i(q_{1i}^1, \dots, q_{ni}^1) - U_i(q_{1i}^0, \dots, q_{ni}^0) = U_i^1 - U_i^0$$

Un consommateur  $i$  présente la fonction d'utilité suivante :

$$U_i(q_1^i, q_2^i, \dots, q_n^i)$$

avec  $q_j^i$  ( $j = 1, n$ ) la consommation du bien  $j$

Il cherche à maximiser cette fonction sous la contrainte d'un revenu maximum  $r_i$  à ne pas dépasser, soit :

$$\sum_{j=1}^m p_j q_j^i \leq r_i$$

avec  $p_j$  le prix du bien  $j$ .

La maximisation est réalisée par dérivation du Lagrangien :

$$L = U_i - \lambda_i \left( \sum_j p_j q_{ij} - r_i \right)$$

A l'optimum, on obtient :

$$\frac{\partial U_i}{\partial q_j^i} = \lambda_i p_j$$

avec  $\lambda$  le multiplicateur de Lagrange, représentant l'utilité marginale du revenu.

Soit, avec  $m$  biens :

$$dU_i = \sum_{j=1}^m \frac{\partial U_i}{\partial q_j^i} dq_{ij} = \lambda_i \sum_{j=1}^m p_j dq_{ij}$$

On pose alors l'hypothèse d'un paramètre  $\lambda$  constant <sup>10</sup> avec  $\lambda = 1$  et on obtient :

$$dU_i = \sum_j p_j dq_{ij}$$

Dans l'hypothèse où un seul prix varie on a :

$$dU = -q_{ij} dp_j$$

---

<sup>10</sup>Les variations marginales des utilités ne sont définies qu'à un facteur multiplicatif près.

Si l'on pose l'hypothèse d'une fonction d'utilité quasi linéaire ainsi que la variation d'un seul prix <sup>11</sup>, on obtient la formule suivante :

$$\Delta U_i = - \int_{p_j^0}^{p_j^1} q_{ij} dp_{ij}$$

Cette formule traduit le surplus de l'utilisateur, elle reflète l'intégration de l'aire sous la courbe de demande.

*Le concept de bien-être collectif*

De l'utilité individuelle au bien-être collectif

Suivant l'hypothèse que la fonction d'utilité collective  $W$  dépend de l'utilité de chaque agent ( $i = 1$  à  $n$ ), on a :

$$W = F(U_1, \dots, U_n)$$

La variation de bien-être collectif s'écrit alors :

$$dW = \sum_j F'_i dU^i$$

Soit, à l'optimum :

$$dW = \sum_i \frac{\partial W}{\partial U_i} dU_i$$

Et :

$$dW = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{\partial W}{\partial U_i} \frac{\partial U_i}{\partial q_j^i} dq_j^i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_i \frac{\partial W}{\partial U_i} p_j dq_j^i$$

Sous les hypothèses que les utilités marginales de la monnaie soient égales à 1 et que la répartition initiale des revenus soit optimale<sup>12</sup>, on a :

$$dW = \sum_j p_j dq_j$$

---

<sup>11</sup>Si plus d'un prix change, le surplus du consommateur est indéterminé.

<sup>12</sup>L'accroissement marginal du bien-être collectif procuré par l'accroissement marginal du revenu d'un individu est constant dans la population.



avec  $q_j = \sum_{i=1}^n q_i^j$

Cette formule traduit la variation de surplus du consommateur au sens de Dupuit.

De la fonction d'utilité individuelle à la fonction d'utilité collective ou la question de l'agrégation des utilités individuelles

La question de l'utilité a été traitée dans le cadre de travaux réalisés avec Raux *et al.* [150], auxquels ces quelques paragraphes font largement référence. En réaction à l'approche utilitariste, dans laquelle la justice est un sous-produit de la recherche du plus grand bonheur pour le plus grand nombre, en ignorant les inégalités éventuelles dans la distribution des utilités, les théories contemporaines de la justice ont cherché à intégrer le concept d'équité. Un apport majeur est la théorie de la justice de Rawls [151] qui repose sur plusieurs principes dont le fameux principe de différence qui s'appuie sur le critère du maximin : ce dernier vise à maximiser le surplus minimal. Rapportée à l'économie des transports, l'approche du maximin suppose de retenir un projet qui favorise l'intérêt des plus pauvres même si ce projet ne présente pas la plus grande variation de surplus collectif, à l'inverse des préconisations du calcul économique traditionnel (Thisse, [165]). Ce critère du maximin peut être formalisé de la façon suivante :

$$Max [Min_i \Delta S_i]$$

tandis que l'approche traditionnelle du calcul économique avance le critère d'efficacité optimale suivant :

$$Max \left[ \sum_i \Delta S_i \right]$$

Face aux questions d'équité et de justice sociale, Wolfelsperger [179] avance une conception néo-utilitariste de la justice en supposant l'existence d'un « observateur idéal » chargé de représenter les préférences des individus. La fonction de justice sociale, cherchant à maximiser le bien-être collectif, peut s'écrire sous la forme suivante :

$$W = \frac{1}{\alpha} \sum_i (U_i)^\alpha$$

$$\begin{aligned}
 & \text{si } \alpha \neq 0 \\
 W &= \sum_i \log(U_i) \\
 & \text{si } \alpha = 0
 \end{aligned}$$

Le paramètre  $\alpha$  permet de pondérer les utilités individuelles en fonction de leur niveau et représente ainsi le degré de prise en considération des inégalités. Wolfelsperger distingue trois principaux cas pour qualifier l'aversion (plus ou moins forte) pour l'inégalité :

- Une préférence pour l'inégalité se caractérise par  $\alpha > 1$ . Cela sous-entend que le poids accordé à un individu, dans l'évaluation de la justice de la répartition, est d'autant plus important que cet individu bénéficie d'un niveau initial d'utilité élevé.
- Une vision utilitariste se traduit par  $\alpha = 1$ . Dans ce second cas, qui renvoie à la célèbre formule de Bentham « le plus grand bonheur du plus grand nombre », tous les individus sont considérés égaux et ce, indépendamment de leur niveau initial d'utilité.
- Le troisième cas caractérisé par  $-\infty < \alpha < 1$  fait référence à une aversion pour l'inégalité. La fonction de justice accorde à une variation d'utilité un poids d'autant plus important que le niveau initial de cette utilité est faible. Comme le rappelle Wolfelsperger, plus la valeur de  $\alpha$  est faible, plus on se rapproche d'une situation où seule est prise en compte la variation d'utilité de l'individu dont le niveau de bien-être initial est le plus faible. Ce troisième cas présente des similitudes avec l'approche du maximin de Rawls évoquée ci-dessus.

#### IV.2.2 Accessibilité gravitaire et surplus du consommateur

*L'apport de Wilson : le principe de l'entropie maximale pour développer le modèle gravitaire*

Sur la base du principe de l'entropie maximale<sup>13</sup>, Wilson développe à la fin des années 1960 [178] le modèle gravitaire doublement contraint pour dépasser l'une des limites des modèles gravitaires « traditionnels », à savoir l'absence d'effets de concurrence (cf. section II.3.4). La présentation des travaux de Wilson est réalisée sur la base d'un article de Bonnafous et Masson

<sup>13</sup>L'entropie mesure le degré de dégradation de l'énergie.

[21] ainsi que sur un précédent travail de Raux *et al.*[150]. Wilson considère un ensemble de déplacements (d'interactions) noté  $T$  entre une série de zones d'origine  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) et de zones de destination  $j$  ( $j = 1, \dots, m$ ). On suppose que les déplacements sont exclusivement des déplacements « domicile-travail » et que le nombre de résidents et d'emplois dans chacune des zones est connu. En revanche le nombre d'habitants de la zone  $i$  se rendant tous les jours au travail dans la zone  $j$  est inconnu. Le nombre de fois où l'on peut obtenir une distribution donnée dépend des permutations pouvant être réalisées. Soit :

$$W = \frac{T!}{\prod_{i,j} T_{ij}!}$$

avec  $T = \sum_i \sum_j T_{ij}$

Après transformation de l'expression en logarithme et utilisation de l'approximation de Stirling ( $\log X! = X \log X - X$ ), on obtient :

$$\ln W = T \ln T - T - \sum_i \sum_j T_{ij} \ln T_{ij} + T$$

Wilson introduit alors trois contraintes :

- une contrainte de destination afin que le nombre total de déplacements vers une zone donnée n'excède pas la capacité d'accueil de cette zone. Cette contrainte s'écrit :

$$\forall j \in K, \sum_i T_{ij} = D_j$$

avec  $D_j$  la capacité d'accueil (le nombre d'emplois) de la zone  $j$

- une contrainte de coût afin que l'ensemble des déplacements soit réalisé à l'intérieur d'une enveloppe budgétaire globalement donnée. Cette contrainte s'écrit :

$$\sum_i \sum_j c_{ij} T_{ij} = \bar{C}$$

La résolution du Lagrangien suivant

$$L = - \sum_i \sum_j (T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}) + \sum_j \lambda_i (O_i - \sum_j T_{ij}) + \sum_j \mu_j (D_j - \sum_j T_{ij}) + \beta (\bar{C} - \sum_i \sum_j c_{ij} T_{ij})$$

nous donne

$$T_{ij} = \exp^{-\lambda_i - \mu_j - \beta * c_{ij}}$$

On pose alors :

$$a_i = \frac{\exp^{-\lambda_i}}{O_i} = \frac{1}{\sum_j \exp^{-\mu_j - \beta * c_{ij}}}$$

et

$$b_j = \frac{\exp^{-\mu_j}}{D_j} = \frac{1}{\sum_i \exp^{-\lambda_i - \beta * c_{ij}}}$$

Par substitution on obtient

$$a_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_j \exp^{-\beta * c_{ij}}}$$

et

$$b_j = \frac{1}{\sum_i A_i O_i \exp^{-\beta * c_{ij}}}$$

Soit le trafic doublement contraint :

$$T_{ij} = O_i * a_i * D_j * b_j * \exp^{-\beta c_{ij}}$$

Si l'ensemble des contraintes a été imposé, il est possible de contraindre « simplement » le modèle. On obtient alors :

$$T_{ij} = O_i \frac{D_j \exp^{-\beta * c_{ij}}}{\sum_k D_k \exp^{-\beta * c_{ik}}}$$

Soit  $A_i = \sum_j D_j \exp^{-\beta * c_{ij}}$  l'indicateur d'accessibilité gravitaire le plus courant. On retrouve alors le dénominateur du modèle « simplement » contraint.

### *Les développements de Neuburger*

Neuburger [137] pose l'hypothèse de la distribution gravitaire des déplacements.

$$T_{ij} = \frac{O_i D_i \exp^{-\lambda * c_{ij}}}{\sum_k D_k \exp^{-\lambda * c_{ik}}}$$

la variation de surplus s'écrit

$$\Delta S = \sum_i \sum_j \int_{C_{ij}^1}^{C_{ij}^2} \frac{O_i D_j \exp^{-\lambda * c_{ij}}}{\sum_k D_k \exp^{-\lambda * c_{ik}}} dC_{ij}$$

avec  $C_{ij}$  le coût du déplacement entre les zones  $i$  et  $j$

En posant :

$C_{ij} = C_{ij}^1 + \eta \delta_{ij}$  et  $\delta_{ij} = C_{ij}^2 - C_{ij}^1$  on obtient :

$$\Delta S_i = -\frac{O_i}{\lambda} \log\left(\frac{\sum_k D_k \exp^{-\lambda C_{ik}^2}}{\sum_k D_k \exp^{-\lambda C_{ik}^1}}\right)$$

Suivant l'indicateur d'accessibilité gravitaire, on peut donc écrire :

$$\Delta S_i = \frac{O_i}{\beta} (\ln A_i^2 - \ln A_i^1)$$

### *L'apport de Cochrane*

A la suite de Neuburger, de nombreux travaux se sont intéressés à la relation entre accessibilité gravitaire et surplus de l'utilisateur (Williams ou Erlander *et al.* [67], par exemple). Parmi eux, Cochrane souligne en préambule de son article [42] que si les apports de Wilson sont incontestables, ils ne mettent pas réellement en évidence les fondements économiques du modèle gravitaire. L'auteur développe alors une démonstration afin de mettre en évidence les liens entre modèle gravitaire et théorie économique du surplus.

La probabilité de l'utilité retirée de la réalisation d'un déplacement s'écrit

$$\Phi(u) = [F(u)]^n = [1 - \exp^{-\lambda(u-m)}]^n$$

Soit,

$$\ln \Phi(u) = -n * \exp^{-\lambda(u-m)}$$

On pose  $n = hA_j$  (le nombre de possibilités de déplacement  $n$  offerte par une zone  $j$  étant proportionnelle à  $A_j$ , une mesure de l'attraction). On considère en outre le surplus comme la différence entre l'utilité probable du déplacement ( $u$ ) et le coût généré par le déplacement ( $c_{ij}$ ). On a alors :

$$\Phi(u) = \exp[-hA_j \exp^{-\lambda(s_{ij} + c_{ij} - m)}]$$

La probabilité qu'un déplacement ayant son origine dans la zone  $i$  soit à destination de la zone  $j$ , autrement dit la probabilité que la zone  $j$  soit la zone la plus attractive s'écrit :

$$Pr = \frac{A_j \exp^{-\lambda c_{ij}}}{\sum_j A_j \exp^{-\lambda c_{ij}}}$$

Soit  $O_i$  le nombre de déplacements depuis la zone  $i$ . Le trafic entre les zones  $i$  et  $j$  s'écrit alors :

$$T_{ij} = \frac{O_i A_j \exp^{-\lambda c_{ij}}}{\sum_j A_j \exp^{-\lambda c_{ij}}}$$

On retrouve ici l'expression du modèle simplement contraint.

Le surplus de l'usager lié au passage d'une situation 1 à une situation 2 devient :

$$\Delta S_T = \sum_j \int_{c_{ij}^1}^{c_{ij}^2} T_{ij} dc_{ij}$$

$$\Delta S_T = \frac{1}{\lambda} \sum_i O_i \ln \left[ \frac{(\sum_j A_j \exp^{-\lambda c_{ij}})_2}{(\sum_j A_j \exp^{-\lambda c_{ij}})_1} \right]$$

On retrouve le résultat obtenu par Neuberger pour le modèle simplement contraint.

\*  
\*\*

Cette quatrième section a été élaborée dans le souci de justifier les mesures d'accessibilité qui seront utilisées ultérieurement dans notre travail, à savoir les mesures gravitaires. Cette justification repose sur deux types de critères : le respect des axiomes de Weibull et leur cohérence avec le calcul économique. Ces contraintes respectées, les indicateurs sont considérés comme pertinents et en adéquation avec la théorie micro-économique. Les mesures gravitaires de l'accessibilité respectent l'ensemble des axiomes de Weibull et sont cohérentes avec les principes du calcul économique.

## V Conclusion du chapitre 1

Ce chapitre a été l'occasion de mener une revue de la littérature sur les principales approches du concept d'accessibilité et sur les différentes mesures qui en découlent. Toutefois, bien qu'ayant fait l'objet d'un effort afin de recenser la diversité des approches, nous ne prétendons pas être exhaustifs (voir par exemple, [120] ou [30]). Ainsi, au-delà des indicateurs envisageant uniquement la séparation spatiale (ou temporelle) comme variable, la plupart des indicateurs considèrent tant la séparation spatiale (ou temporelle) que l'opportunité atteinte grâce au déplacement. Ces deux éléments peuvent apparaître explicitement : c'est le cas pour les mesures isochrones ou les mesures gravitaires de l'accessibilité. Ils peuvent également intervenir plus implicitement dans les mesures issues de la *time-geography* ou les mesures basées sur l'utilité. Tandis que les premières envisagent l'accessibilité en tenant compte du programme d'activité et des contraintes (spatiales et temporelles) des individus, les secondes évaluent l'accessibilité comme l'espérance de l'utilité maximale que retire un individu d'une alternative choisie. Une approche composite développée par Miller tente de réconcilier les différentes mesures et, de ce fait, s'appuie également sur ce que Koenig appelle les éléments moteur et résistant d'un déplacement.

Au regard de la diversité des approches présentes dans la littérature, il convient de s'interroger sur leur pertinence et leur adéquation avec l'objectif de notre travail. Dès lors, afin de justifier le choix de mesures gravitaires d'accessibilité, utilisées par la suite pour évaluer l'impact de la mise en place d'une nouvelle politique de transport, nous avons mobilisé différents fondements théoriques. Le respect des axiomes définis par Weibull en 1976 constitue une preuve de la cohérence interne des mesures gravitaires ainsi que leur respect des comportements individuels. Parallèlement, l'étude des liens entre le modèle de comportement sous-jacent à cette mesure (modèle gravitaire de distribution spatiale) et le calcul économique traditionnel constitue une garantie supplémentaire quant à la pertinence de ces mesures. L'utilisation de mesures gravitaires se trouve totalement justifiée par l'un et l'autre de ces critères et peut donc être appliquée au cas de Strasbourg.

# Chapitre 2 : Strasbourg ou l'exemple d'une politique pionnière en matière d'accessibilité urbaine

## I Introduction

« Un tram pour réussir la ville », c'est en ces termes que le tramway de Nice a été annoncé dans la presse [168]. Tandis qu'il y a moins d'un demi siècle le tramway était considéré comme obsolète au regard de l'automobile, il constitue aujourd'hui un instrument clé des politiques de transport pour, d'une part, répondre à la demande croissante de mobilité en complément de la voiture particulière et pour, d'autre part, orienter l'organisation et le fonctionnement urbain en dynamisant notamment les centres-villes et en renforçant la cohésion territoriale [72].

Il semble émerger un consensus favorisant le retour à une ville plus lente, bien que celui-ci ne concerne pas l'ensemble du territoire urbain (seul le centre verrait sa vitesse contrainte) ni sur toutes ses « strates » (les transports en commun souterrains ne sont pas remis en cause). Dans le centre-ville, la référence ne serait plus la vitesse automobile mais une voirie « apaisée ». A l'objectif de minimisation du temps de transport individuel semble se substituer celui de la maximisation de l'utilité collective retirée de l'usage de l'espace urbain. De nombreuses agglomérations françaises mettent ainsi en place une politique non plus axée sur le seul objectif de vitesse mais également sur celui d'accessibilité en réalisant principalement des infrastructures de transports collectifs de type tramway (mise en place de lignes de tramway



à Strasbourg, Lyon, Grenoble, Nice ...).

L'agglomération Strasbourgeoise est l'une des premières à avoir (ré)introduit le tramway, en 1994, en l'associant à une réorganisation de l'offre de transport en bus, et ré-évalué de ce fait la place de l'automobile en centre-ville. Les objectifs qui sous-tendent cette politique mettent en avant les enjeux corrélés d'aménagement urbain et de cohésion territoriale tout en reformulant les termes de la concurrence modale.

En associant le tramway à la notion d'accessibilité et en le replaçant dans une optique de politique urbaine et de transport, le « cas strasbourgeois » représente de fait un exemple pertinent à analyser. Ce chapitre a donc le double objectif de présenter l'aire d'étude sur laquelle portera notre modélisation et de justifier notre choix. Pour ce faire, nous organisons ce chapitre en trois sections. La première détaille le périmètre d'étude retenu et envisagera ses principales caractéristiques socioéconomiques dont la connaissance nous sera utile pour la suite du travail. Sur ces bases, la deuxième section revient sur la politique mise en place à Strasbourg dans les années 1990, au regard des objectifs du Plan de Déplacements Urbains, et montre que les prémices de cette politique remontent dans les années 1970. Enfin, la troisième section complète cette analyse en offrant des éléments statistiques sur les pratiques de mobilité des Strasbourgeois et leur évolution au regard de la réorganisation du système de transport.

## II Éléments de cadrage

L'objet de cette section consiste à donner au lecteur des éléments de base permettant de cadrer notre travail tant pour visualiser le périmètre d'étude retenu que pour en comprendre les principales caractéristiques. Celles-ci concernent essentiellement la localisation de la population et des emplois dont l'importance influe sur nos résultats, présentés dans les chapitres 5 et 6.

### II.1 Périmètre d'étude et découpage spatial

Comme le souligne Masson [121], « délimiter le périmètre d'étude est une opération délicate. Les choix dépendent en grande partie de la vision du chercheur et ont une influence sur l'étude elle-même. Le périmètre d'étude

est directement en relation avec l'objet du modèle ». Le choix d'une aire d'étude et d'une échelle géographique de travail pèse ainsi dans les résultats en raison notamment du type de déplacements intégrés (Levinson, [117]). Kwan et Weber [111] soulignent que les recherches récentes sur l'accessibilité en milieu urbain distinguent deux échelles principales : l'échelle régionale qui vise à intégrer l'évolution de la structure urbaine (développement des villes polycentrique), comme l'illustrent les travaux de Kawabata [102] ou Cervero *et al.* [38], et l'échelle locale qui travaille à l'échelle des quartiers (travaux de Raux *et al.* [147], ou El-Geneidy et Levinson [66], par exemple). L'accessibilité locale s'inscrit à l'échelle de la ville tandis que l'accessibilité régionale raisonne à l'échelle de l'aire urbaine. Ces deux échelles se différencient par l'éventail des possibilités (de travail, de loisirs . . .) offertes aux individus mais elles témoignent également d'un couple transport-aménagement du territoire différent.

Considérant ces remarques, notre étude développe des calculs d'accessibilité sur les communes contiguës de Strasbourg et Illkirch-Graffenstaden<sup>14</sup> pour 1993 et 2005 (figure 1), soit à une échelle « locale ». La finalité de cette étude (évaluer les impacts de la réorganisation du réseau de transport urbain sur l'accessibilité des actifs) explique cet angle d'approche. Toutefois, si l'intégration de Strasbourg, ville-centre de la Communauté Urbaine de Strasbourg, dans le périmètre d'étude n'appelle aucun commentaire, le choix d'intégrer la commune d'Illkirch et non celles de Schiltigheim, Hoenheim et Bischheim, également desservies par le tramway, ou bien encore l'ensemble de la Communauté Urbaine de Strasbourg, mérite d'être expliqué.

Illkirch-Graffenstaden a bénéficié, comme Strasbourg, de l'arrivée du tramway dès 1994 avec le premier tronçon de la ligne A et ce, même si cette ligne ne desservait la ville que par un seul arrêt (Illkirch Baggersee) au nord. Le prolongement de la ligne A en 1998 a permis à Illkirch de bénéficier de quatre autres arrêts. A l'inverse, les trois autres communes pré-citées n'ont été desservies par le tramway qu'en 2000 en ne bénéficiant chacune que de deux voire trois arrêts. Dès lors, le manque de recul dont nous aurions disposé ne nous aurait pas permis de dégager de possibles impacts du tramway sur la localisation des populations<sup>15</sup>. Par ailleurs, évaluer l'évolution de l'accessibilité

---

<sup>14</sup>Souvent notée Illkirch dans la suite du texte.

<sup>15</sup>Comme nous le verrons au chapitre 5, il est déjà très difficile d'observer les tendances sur l'évolution des localisations suite à la mise en place de la ligne A en 1994.

de ces trois communes suite à l'arrivée du tramway reviendrait à donner au tramway une place de choix dans la desserte de ces communes alors que moins de la moitié de la population de ces trois communes réside à 250 mètres ou moins d'un arrêt de tramway. Pour intégrer ces communes de Schiltigheim, Hoenheim et Bischheim au périmètre, il faudrait dès lors ne considérer que les quartiers desservis par le tramway. Toutefois, une telle pratique se heurte à des limites techniques du modèle, inhérentes au découpage spatial, en raison du nombre de zones à intégrer.

Une seconde raison expliquant notre découpage spatial tient en la concentration des emplois sur les communes de Strasbourg et Illkirch-Graffenstaden. Ces deux communes regroupent ainsi plus de 73% des emplois de la Communauté Urbaine de Strasbourg (source : RGP 99). Les résultats en termes d'accessibilité aux emplois ne seraient, dès lors, que peu modifiés par la prise en compte de l'ensemble du territoire de la communauté urbaine. Compte tenu de ces caractéristiques et du travail de constitution des données, nous avons fait le choix de ne pas élargir davantage notre périmètre d'étude.

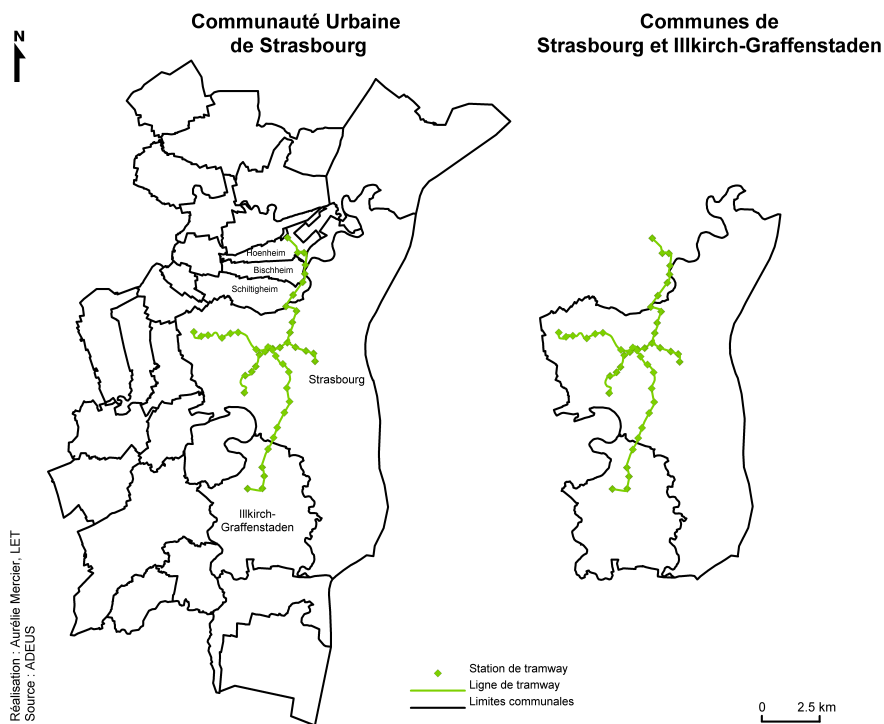


FIG. 1 – Périmètre d'étude

Afin d'envisager l'accessibilité « locale » à un niveau zonal très fin, nous travaillons à partir d'un découpage du territoire en micro-zones de 250 mètres x 250 mètres. Le choix de la taille des zones tient compte de la précision à laquelle nous souhaitons travailler et des contraintes techniques auxquelles nous sommes soumis. Le niveau d'accessibilité gravitaire étant fortement impacté par la taille des zones, nous cherchons à travailler à un niveau zonal fin pour nous rapprocher d'un calcul d'accessibilité « en tous points du territoire » et ce, d'autant plus que notre étude est menée en milieu urbain. De ce fait, des zones de 500 mètres x 500 mètres ne permettent pas d'observer finement les évolutions d'accessibilité ou bien, par exemple, l'impact d'un arrêt de tramway sur le niveau d'accessibilité en transports en commun. A l'inverse, définir des zones de dimension inférieure à 250 mètres x 250 mètres soulève des limites en termes de puissance de calcul. Notre aire d'étude, comprenant les communes de Strasbourg et Illkirch, est ainsi découpée en 1603 micro-zones de 250 mètres x 250 mètres. Les distances et temps de parcours,

en voiture particulière et en transports en commun, sont donc définis pour plus de 2.5 millions de relations origine-destination et nécessitent des temps de calculs conséquents. Définir des zones de 100 mètres x 100 mètres reviendrait à considérer plus de 10 000 micro-zones et plus de 100 millions de relations origine-destination.

### II.2 Un périmètre d'étude marqué par la prégnance de ses quartiers centraux

La commune de Strasbourg regroupe des quartiers de fonctions et d'époques différentes. En référence à la construction historique de la ville, nous pouvons discerner le centre-ville « historique » auquel est associé un centre-ville plus récent qualifié « d'Haussmannien » (quartiers de la Gare, Tribunal, Orangerie, Conseil des XV, Bourse, Esplanade, Krutenau, Neudorf)<sup>16</sup>. A leur périphérie se trouvent les faubourgs à vocation résidentielle (quartiers de Neuhof, Cronenbourg, HautePierre, Robertsau, la Meinau partie Nord) ou industrielle (Port du Rhin, Elsau, Montagne Verte, Koenigshoffen). Strasbourg s'est construite et développée en préservant son héritage urbain et topographique. La localisation de la population et des emplois relève ainsi de cette organisation spatiale historique et naturelle qui tend à renforcer le poids du centre-ville.

#### II.2.1 Localisation comparée des actifs et des emplois

La commune de Strasbourg qui comptait, en 1999, 264 115 habitants (RGP 1999) répartis sur 78 km<sup>2</sup> est considérée comme la 7<sup>ème</sup> ville de France au sens de l'INSEE tandis que la commune d'Illkirch-Graffenstaden recensait 23 814 habitants (RGP 1999)<sup>17</sup>. Les résultats du recensement de 1999 font apparaître une adéquation globale entre la localisation de la population et celle des emplois (cf. figure 2). Les zones les plus denses en termes de population sont essentiellement localisées dans les quartiers du Centre et de l'Ouest de la ville, tandis que le nombre d'emplois par km<sup>2</sup> est supérieur à 4 880 dans l'ensemble du centre-ville élargi (soit sur une surface de 11 km<sup>2</sup>) et dans quelques zones industrielles. Les emplois sont sur-représentés par rapport à la population (ratio emplois/population supérieur à 30%) dans les quartiers

---

<sup>16</sup>Voir carte des quartiers en annexe 2

<sup>17</sup>Les estimations de l'INSEE, pour 2005, sont de 272 500 habitants à Strasbourg et de 25 600 habitants à Illkirch

## CHAPITRE 2

du centre de Strasbourg et sur la quasi-totalité de la commune d'Illkirch. Si la localisation de la population semble héritée de l'évolution géographique de la ville et des politiques d'habitat, la concentration des emplois s'explique par la prégnance du secteur tertiaire (activités financières, d'études, de conseil, de services aux entreprises ... mais aussi activités commerciales et touristiques), activités centrales par excellence. Soulignons toutefois la présence de zones d'activités industrielles situées dans la partie Est de Strasbourg telles la Plaine des Bouchers ou le Port du Rhin.

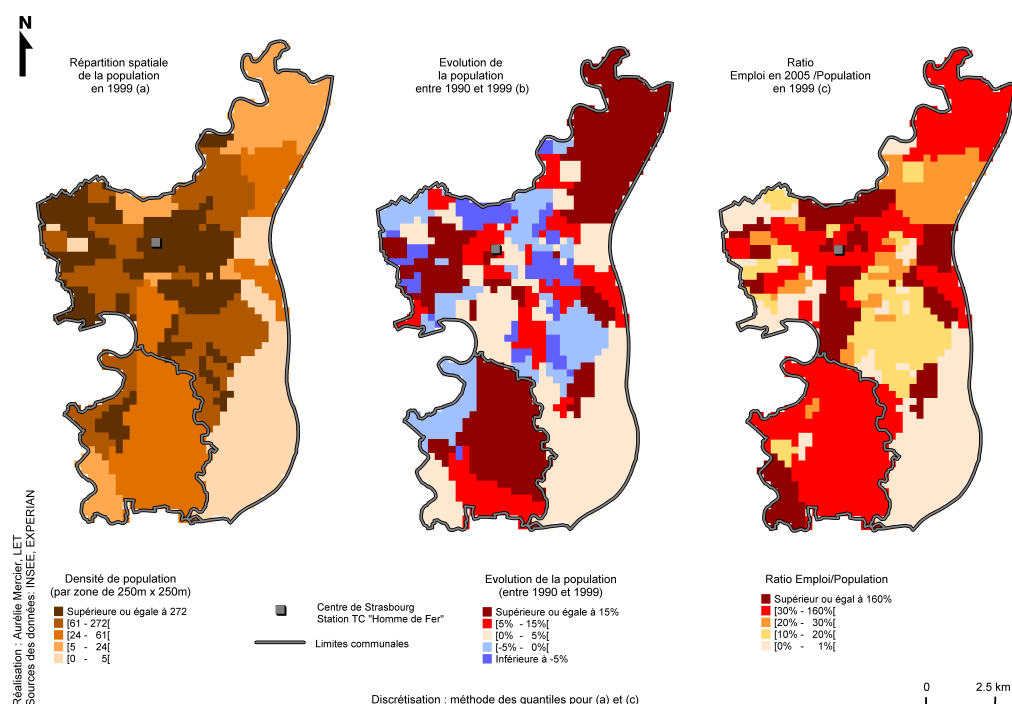


FIG. 2 – Répartition spatiale des emplois, répartition et évolution de la population

## II.2.2 Une évolution de la population qui tend à spécialiser les quartiers

Contrairement à ce qui pouvait être observé entre 1975 et 1990, la commune de Strasbourg voit, depuis 1990, sa population <sup>18</sup> augmenter de 0.5% par an (entre 1990 et 1999 puis entre 1999 et 2005) <sup>19</sup>. Ce taux est expliqué par le solde naturel lié à la jeunesse de la population (35% des résidents ont entre 20 et 39 ans) [93] et non par le solde migratoire qui reste négatif malgré les effets frontaliers et l'attraction d'étudiants étrangers.

### *Une évolution inégale selon les quartiers*

La figure 2(c), met en évidence les quartiers (plus précisément les zones Iris) ayant bénéficié de cet accroissement de population entre 1990 et 1999. Ainsi, au-delà des quartiers centraux, déjà parmi les plus peuplés en 1990, les quartiers de la Roberstau et de Koenigshoffen ont vu leur population croître de plus de 15%, en neuf ans, grâce notamment au dynamisme de construction (pour la quartier de Roberstau où 20% des logements ont été construits depuis 1990) ou l'installation de jeunes ménages (pour le quartier de Koenigshoffen). A l'inverse, les quartiers qui ont vu leur population diminuer sont, à l'exception du Sud-Est de Strasbourg peu peuplé, situés dans la partie Est du centre-ville élargi ou aux frontières Nord-Ouest et Ouest de Strasbourg. Pour expliquer ce phénomène, le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de Strasbourg avance deux explications [2]. Les quartiers du centre-ville élargi présentaient « une population déjà vieillie en 1990 » et les quartiers aux frontières de la ville sont essentiellement composés de logements sociaux (Cité de l'Ill, Hautepierre, Neuhof, par exemple). Ces quartiers n'ont pas vu leur parc de logements se renouveler et doivent également faire face à une baisse de la taille des ménages (comme le reste de l'agglomération).

### *Des populations aux caractéristiques très différentes selon les quartiers*

Intéressons-nous maintenant aux caractéristiques du parc de logements et de ses occupants, très marquées en fonction des quartiers. Comme le

---

<sup>18</sup>En raison de l'absence de données précises sur la structures et l'évolution du nombre d'emplois dans les années 90, nous n'aborderons pas la question de l'évolution des emplois par quartiers.

<sup>19</sup>L'évolution annuelle est de 0.7% sur Illkirch-Graffenstaden

souligne le PLU, les quartiers se différencient par des structures familiales et socioprofessionnelles hétérogènes auxquelles sont corrélées les caractéristiques du parc de logements. La taille des ménages augmente avec la distance au centre. Ainsi, les quartiers centraux sont majoritairement composés de ménages d'une ou deux personnes (souvent des couples non mariés) en raison notamment de la forte présence d'étudiants (26% de la population du centre-ville). A la périphérie du centre, on trouve des quartiers de jeunes actifs (vivant en couple pour une partie) ou bien des « familles en constitution » (Neudorf ou Koenigshoffen), tandis que les familles sont localisées dans les quartiers périphériques du Nord (Roberstau), de l'Ouest (Cronembourg-Hautepierre) ou du Sud de Strasbourg (la Meinau).

La structure du parc de logements correspond à cette typologie sociale. De fait, les quartiers centraux et du Neudorf présentent une part importante de logements de petite taille (la moitié des logements ont une surface inférieure à 40 m<sup>2</sup>). A l'inverse, les quartiers au sein desquels les grands logements (dont la surface est supérieure à 100 m<sup>2</sup>) représentent plus de 25% du parc sont localisés au Nord-Est de Strasbourg.

La typologie par catégories socioprofessionnelles présentée par le PLU met en évidence une zone s'étendant du centre à Robertsau, en passant par les quartiers de l'Orangerie et du Neudorf, majoritairement composée de cadres voire de professions intermédiaires. Le secteur Ouest de la ville mêle employés, ouvriers et professions intermédiaires tandis que le secteur Sud est plutôt composé d'ouvriers. Les quartiers d'habitat social sont majoritairement composés d'ouvriers et d'employés et présentent un taux de chômage plus élevé que la moyenne<sup>20</sup> qui concerne plus d'un actif sur trois.

\*

\* \*

Cette section, en fournissant au lecteur des éléments de cadrage, vise non pas à faire un « état des lieux » exhaustif en recensant l'ensemble des données relatives à la situation socioéconomique de Strasbourg mais à insister sur les points clés pour appréhender les résultats présentés dans les chapitres 5 et 6. La prégnance du centre-ville et la localisation centralisée de la population et plus encore des emplois est à considérer. Par ailleurs, nos travaux évaluant

---

<sup>20</sup>Pour l'ensemble de Strasbourg, le taux de chômage était de 9.8% en 2005



des niveaux d'accessibilité aux emplois pour des actifs résidant en tous points du territoire, il semble intéressant de savoir qui sont ces actifs et, de manière plus générale, quel(s) type(s) de population(s) compose(nt) ces territoires. A la lumière du Plan Local d'Urbanisme, associé aux données de l'INSEE, nous pouvons dégager une typologie sociale des quartiers en fonction de leur localisation. Les quartiers centraux et de l'Est de la ville, en pleine expansion, sont essentiellement composés de cadres ou de professions intermédiaires. Les quartiers de l'Ouest et du Sud mêlent principalement employés et ouvriers même si les professions intermédiaires y sont également présentes.

### III Une politique de transport à deux vitesses

Toujours dans l'optique de permettre au lecteur de comprendre le cadre de notre étude et les enjeux sous-jacents, nous nous intéressons dans cette section à la politique de transport menée à Strasbourg pour voir comment son évolution, au fil des décennies, lui confère le qualificatif de politique « à deux vitesses ». De fait, l'idée d'une accessibilité différenciée entre la périphérie et le centre-ville de Strasbourg fait son apparition dans le schéma directeur de 1970 mais ne se concrétise véritablement qu'à partir de 1990 par « une réorganisation plus équilibrée de l'ensemble des modes de déplacement »<sup>21</sup>. Ainsi, à une politique de réorganisation de la circulation et du stationnement, est associée une démarche volontariste de développement du réseau de transports en commun et de promotion des modes doux. L'objectif de ce plan d'actions ne se limite donc pas à une « simple » réorganisation du système de transport mais s'inscrit dans une politique de restructuration urbaine.

Comme le soulignent Vincent Kaufmann *et al.* [96], cette politique débute à la fin des années 1970 avec la construction d'artères routières et autoroutières en périphérie et de pénétrantes pour améliorer l'accès au centre-ville. Ce dernier reste majoritairement dédié à l'automobile puisque seuls les quartiers touristiques de la Cathédrale et de la Petite France sont rendus aux piétons. Il faut attendre le début des années 1990<sup>22</sup> pour que les politiques conjointes de réduction de l'accessibilité du centre-ville aux voitures et de l'amélioration du réseau de transports en commun soient engagées.

---

<sup>21</sup>Intervention publique de Catherine Trautmann (1991) reprise dans le PDU de 2001.

<sup>22</sup>En 1989, Catherine Trautmann est élue à la mairie de Strasbourg et à la présidence de la Communauté Urbaine de Strasbourg

### III.1 Des axes d'accès rapides initiés dès les années 50

La mise en place de voies rapides en périphérie et de pénétrantes pour améliorer l'accès au centre-ville de Strasbourg débute dès les années 1950 sans toutefois que ce programme de construction ne s'inscrive dans une stratégie « d'accessibilité différenciée ». Le maillage autoroutier de l'agglomération mis en place dans les années 1960 vise principalement à réduire la congestion et à développer les quartiers périphériques de l'agglomération strasbourgeoise, jusque là relativement enclavés par rapport au réseau routier (Neuhof, Cité de l'Ill, par exemple). Malgré l'engagement de l'Etat dans le financement, l'objectif n'est pas de s'insérer dans la structure autoroutière nationale mais bien de mener une politique à l'échelle de l'agglomération.

Toutefois les externalités négatives générées par l'utilisation massive de ces nouvelles infrastructures et notamment « l'appauvrissement du centre urbain » conduisent le schéma directeur de 1973 à mettre en place une politique de « réinvestissement du centre » avec la mise en place programmée d'un réseau de transport en site propre comme complément à la voiture particulière pour, d'une part, répondre à l'accroissement de la demande de transport et, d'autre part, améliorer l'accessibilité au centre-ville. Une contradiction semble cependant émerger de ces décisions. Si l'automobile, qui met à contribution l'hypercentre pour l'écoulement des flux routiers et le stationnement automobile, tend à détériorer l'image du centre-ville, c'est davantage le manque de solutions techniques qui semble conduire les politiques à opter pour une infrastructure de transport en commun.

Le dossier d'agglomération de 1975 renforce cette ambivalence en soulignant la double nécessité de revaloriser le centre-ville avec la mise en place de deux lignes de tramway de façon concomitante à la « piétonisation » de l'hypercentre, d'une part, et de boucler le maillage autoroutier en prolongeant les pénétrantes existantes et en construisant deux rocades, d'autre part. A cette époque le centre-ville reste majoritairement dédié à l'automobile.

Les années 1990 marquent la fin du règne du « tout automobile ». La ville de Strasbourg se trouve au cœur d'un nœud autoroutier à vocation locale, régionale, nationale et internationale. Toutefois ce réseau routier structurant ne permet désormais plus de traverser le centre-ville de Strasbourg (cf. figure 3). Ce dernier est ainsi cerné par un ensemble de radiales routières et autoroutières se contentant de le contourner. L'utilisation de ces grands axes

permet ainsi un accès rapide entre les quartiers périphériques et les frontières du centre-ville mais elle doit être couplée à des modes plus lents pour effectuer les trajets terminaux jusqu'aux opportunités du centre-ville.

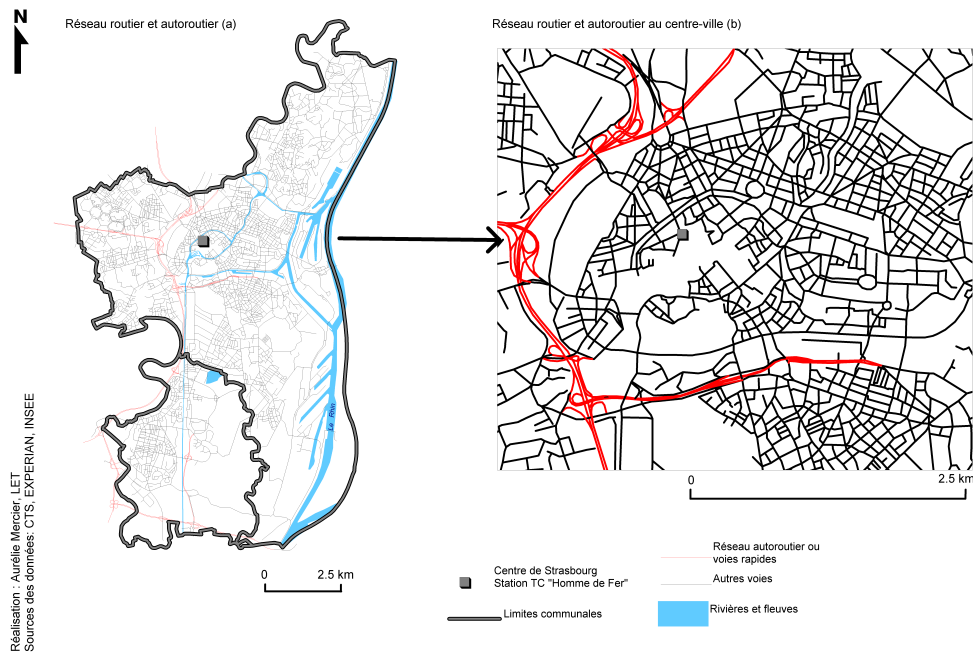


FIG. 3 – Réseau routier et autoroutier en 2000

### III.2 Vers une amélioration de l'accessibilité en transports en commun

Le projet de tramway, bien qu'avancé dans le dossier d'agglomération de 1975, est longtemps reporté contrairement aux infrastructures routières réalisées dès la fin des années 1970. Seule la « piétonisation » du centre-ville est entreprise. Kaufmann *et al.* [96] reprennent les travaux de Messeilis [123] qui avancent trois raisons au report du projet tramway :

1. L'Etat accorde sa priorité au « désengorgement » des infrastructures routières.
2. L'opposition des commerçants du centre-ville à tout projet qui limiterait l'accès à l'hypercentre au regard de l'impact positif des Halles

(centre commercial associé à un parking directement connecté à une pénétrante au nord de Strasbourg) sur le commerce.

3. Aucune infrastructure ne permet, avant les années 1990, d'éviter la traversée de l'agglomération strasbourgeoise en voiture. La priorité serait de permettre un contournement avant d'envisager une restriction de l'accès du centre à l'automobile.

La seconde raison incite la municipalité de l'époque à proposer, en lieu et place du tramway, un VAL souterrain qui limiterait l'emprise sur la voirie. Le débat tramway/VAL, portant plus largement sur la restructuration des quartiers centraux et périphériques, sera d'ailleurs au centre du débat entre Catherine Trautmann, favorable au tramway et Marcel Rudloff défenseur du VAL. L'élection de Catherine Trautmann à la mairie et à la Communauté Urbaine de Strasbourg en 1989 se traduira ainsi par le choix définitif du tramway.

### **III.3 Les transports en commun et les modes doux au cœur de la ville des années 90**

Les démarches de réalisation du tramway et de mise en place d'un Plan de Déplacements Urbains débutent simultanément. Le Plan de Déplacements Urbains initié dès 1989, en s'appuyant sur la Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs de 1982 (LOTI) puis, plus tard, sur la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie de 1996 (LAURE), souligne la double nécessité de réserver la création de voirie principale à la satisfaction des seuls besoins de liaisons entre quartiers ou de contournements d'une part, et d'augmenter le niveau de service de la desserte des secteurs centraux en renforçant les transports collectifs, et à l'exclusion de toute création de voirie radiale, d'autre part.

#### **III.3.1 Une réorganisation du réseau de transports en commun**

L'inauguration de la première ligne de tramway en 1994 constitue le point d'orgue des actions menées en faveur des transports collectifs et de la rénovation urbaine. Ainsi, par le biais du tramway, c'est toute la ville centre qui s'offre un nouveau visage (cf. figure ??).

La ligne A se décompose en deux tronçons, le premier a été inauguré en 1994 et représente 80% de la longueur de la ligne actuelle tandis que le second a été mis en service en 1998. La mise en service de la ligne A (dont l'itinéraire a été partiellement doublé par la ligne D en 1998) a été renforcée par la création des lignes de tramway B et C reliant, depuis l'automne 2000, l'Elsau vers Hoenheim ou l'Esplanade. Ainsi, en 2000, grâce à une longueur totale de 23.4 km, le tramway dessert en 45 stations 144 000 individus et 123 000 emplois situés à moins de 300 mètres d'un arrêt. Sa vitesse commerciale, toutes lignes confondues, est estimée (d'après nos calculs) en heure de pointe à 18 km/h.

La mise en place du tramway s'est accompagnée d'une réorganisation du réseau de bus. Ainsi, le Plan de Déplacements Urbains de 2000 constate un accroissement de 20% du nombre des kilomètres bus, expliqué en partie par la création de nouvelles lignes de bus de rocade, le prolongement de lignes existantes ainsi qu'une extension de l'amplitude horaire. Notons que la Compagnie des Transports Strasbourgeois (CTS) a accru le nombre de ses véhicules de 30% entre 1992 et 1995 pour accompagner cette mutation.

Le développement des transports en commun dans la Communauté Urbaine de Strasbourg s'accompagne d'une politique visant à limiter la place de l'automobile dans le centre-ville grâce à l'intermodalité.

***Le cadre institutionnel des transports publics de personnes strasbourgeois***

La Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) est l'autorité organisatrice des transports publics sur l'ensemble de son territoire, composé de 27 communes. En tant qu'autorité organisatrice, elle détermine le niveau de l'offre de service, le niveau de qualité de service, la tarification ... et choisit, après appels d'offre, l'exploitant du réseau. La CUS a ainsi confié l'exploitation du réseau de transports urbains à la Compagnie des Transports Strasbourgeois (CTS), une société anonyme d'économie mixte (SAEM) dont près de 80% du capital est détenu par des actionnaires publics. La CUS a également en charge l'élaboration du Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération strasbourgeoise.

Au-delà de son rôle d'Autorité Organisatrice, la CUS gère une partie du réseau routier conjointement avec le Département et la Direction Départementale de l'Équipement. Les mairies ont en charge les règlements de circulation et de stationnement. La CUS occupe dans ce domaine un rôle de coordinateur entre les différentes communes de son territoire.

### **III.3.2 Des automobiles boutées hors du centre-ville**

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'un des objectifs du schéma directeur de 1970 était de différencier les politiques de transport en favorisant l'accès au centre-ville par le biais d'infrastructures (routières) rapides tout en limitant cette même vitesse à l'intérieur du centre-ville, dédié aux transports en commun et aux modes doux. Ainsi, comme le rapporte le PDU de Strasbourg de 2001, un « nouveau » plan de circulation appliqué depuis 1992 interdit le transit automobile par le centre-ville de Strasbourg. La circulation automobile reste ainsi cantonnée sur les quais et la ceinture des boulevards tandis que l'accès à l'hypercentre s'effectue par quatre boucles de desserte. Pour assurer la faisabilité d'une telle politique et répondre à la demande croissante de stationnement aux abords du centre-ville, le plan de circulation se double d'une nouvelle politique de stationnement.

Cette nouvelle politique de stationnement se décline en trois axes principaux qui sont la réalisation de « parkings relais tramway » conjointement à la mise en place de ligne A du tramway, la construction de plusieurs parkings

en ouvrage ainsi que l'extension du parking payant en voirie. Chacun de ces axes permet de satisfaire partiellement cet objectif d'accessibilité différenciée tout en préservant l'attractivité économique du centre-ville. Bien avant la mise en place du plan de circulation et de l'arrivée du tramway, Strasbourg présentait déjà des lacunes en termes de stationnement et un taux de stationnement interdit de près de 20%.

La démarche de construction de plusieurs parkings en ouvrage est engagée dès le début des années 90. Entre 1993 et 1996, ce sont ainsi quatre parkings en ouvrage qui sont créés ou étendus. L'offre de stationnement s'est ainsi accrue de 41% entre 1990 et 1998.

Parallèlement, une large part des places de stationnement sur voirie, auparavant gratuites sont devenues payantes (tarif variant de 1.2€ à 1.3€ de l'heure en 1998). Le centre-ville est ainsi devenu une zone totalement payante. Comme le souligne le rapport annuel sur l'observatoire du tramway de 2001 [4], entre 1990 et 2001, le nombre de places de stationnement payantes sur voirie a augmenté de 122%. Cette politique de stationnement payant en centre-ville, en développant le stationnement de courte durée, permet de favoriser la rotation des véhicules et d'éviter le phénomène des voitures ventouses. Une politique tarifaire est toutefois mise en place pour inciter les résidents à ne pas utiliser systématiquement leur véhicule.

L'extension du stationnement payant s'inscrit de fait pleinement dans une logique visant à réduire la place de l'automobile en centre-ville [71]. Pour rester cohérente avec cette logique, la CUS a donc développé les « parkings relais tramway » (P+R) à la périphérie de la ville pour connecter les grandes artères routières au réseau de tramway mais également éviter le développement excessif des parkings en centre-ville. Ces parkings de grande capacité, construits dès 1995, proposent un forfait comprenant le stationnement du véhicule ainsi que le trajet aller/retour en tramway pour chaque passager de la voiture. Le tarif correspond à environ 2 heures de stationnement payant dans le centre-ville.

Parallèlement à ces trois grands axes de la politique de stationnement, nous pouvons également évoquer des modifications qui visent à réduire le nombre de places de stationnement éligibles pour les bureaux à 1 place au minimum et à 3 places au maximum pour 100m<sup>2</sup> de surface hors œuvre nette de bureau (précédemment ce quota était de 3 places minimum et ce,

sans maximum). De la même façon, seule une place de stationnement par logement est exigée (deux places pour les logements les plus grands).

### **III.3.3 Une réelle intégration des modes doux dans la politique de transport**

La réorganisation du système de transport strasbourgeois et la restructuration urbaine qui l'accompagne accordent une large part aux modes doux. Ainsi, le nouveau plan de circulation de 1992 et la mise en service du tramway en 1994 se traduisent par une « piétonnisation » du centre-ville (cf. figure 3). Au-delà de la création de nombreuses zones exclusivement piétonnes, l'accent est mis sur le développement des déplacements à vélo. En 1994, ont ainsi été votés une charte du vélo et le « Schéma Directeur Deux Roues » de la CUS visant à promouvoir l'utilisation du vélo (valorisation du vélo, mise en place de mesures pour lutter contre le vol et pour améliorer la sécurité des cyclistes) et densifier le maillage du réseau des pistes cyclables sur l'ensemble du territoire.

### **III.4 La politique de transports d'aujourd'hui et ... de demain**

Les années 1990 marquent le renouveau de la politique de déplacements à Strasbourg qui ne se contente pas d'apporter une réponse à la demande de mobilité mais se place, plus largement, dans le cadre d'un projet de revalorisation des espaces centraux et d'une politique de cohésion territoriale. L'objectif de notre travail, en cherchant à analyser l'impact de la réorganisation du réseau de transport en commun sur l'évolution de l'accessibilité, et plus généralement sur l'atteinte des objectifs du PDU, s'inscrit dans cette démarche.

Aussi, fonderons-nous nos calculs, entre autres, sur une comparaison de l'accessibilité « avant » et « après » la réorganisation du réseau de transport en commun en considérant que la phase antérieure à la politique est celle de 1993 (soit un an avant la mise en place de la ligne A) et la phase postérieure correspond à la situation de 2005 (soit cinq ans après la mise en place des lignes B et C)<sup>23</sup>. Bien que cela ne rentre pas en compte dans la suite de notre travail, il semble toutefois important de présenter l'évolution de la politique

---

<sup>23</sup>Le choix de ces dates, au-delà de la cohérence avec la mise en place de la politique de



de transports après 2005 au travers des enjeux et objectifs auxquels elle est confrontée mais également des réalisations effectives ou envisagées.

### III.4.1 Des objectifs sous contraintes

Les objectifs des politiques de transport et de développement urbain, désormais indissociables, s'orientent dans deux grandes directions [45]. La première direction consiste à préserver, voire améliorer, les échanges en répondant à la demande croissante de mobilité. Comme nous le verrons dans la section 3, la demande de déplacements est croissante et corrélée avec l'évolution de la structure urbaine : les quartiers (ou communes) périphériques se développant, l'offre de transport doit être adaptée. Le PDU souligne toutefois la nécessité de casser la tendance à l'éclatement spatial de la mobilité, en restaurant l'attractivité urbaine et en réhabilitant les conditions d'usage des deux-roues et de la marche à pied ainsi qu'en favorisant l'intermodalité. La seconde direction s'oriente vers la préservation du cadre de vie pour contrer, notamment, une menace « d'éclatement social ». Pour ce faire, le développement de l'offre de transport sur l'ensemble du territoire doit se faire de manière uniforme en privilégiant les modes alternatifs à l'automobile. La restauration de l'attractivité urbaine passe également par de telles mesures.

Ces objectifs ne doivent pas faire oublier les contraintes de financement et de coordination des différents acteurs institutionnels qui pèsent sur la mise en place de projets d'envergure. La complexité des montages financiers et des jeux d'acteurs est grande et dépasse notre sujet d'étude. Aussi, nous contentons-nous de les mentionner.

### III.4.2 La nouvelle dimension du réseau de transports en commun

Entre août 2007 et juin 2008, le réseau de transports en commun a connu de nombreuses mutations avec les extensions des lignes de tramway B, C et D et la création d'une nouvelle ligne de tramway (ligne E). Avec 53 km de réseau tramway, Strasbourg présente ainsi, en 2008, le plus grand réseau de tramway de France. A l'extension de l'offre de tramway et à la réorganisation du réseau de bus, vient s'ajouter la mise en service de deux nouveaux parkings relais.

---

transport, est également soumis à la disponibilité des données concernant la structure du réseau de transports en commun.

### III.4.3 Les principes appliqués à la création de voirie future

Le Plan de Déplacements Urbains [45] définit deux principes généraux à appliquer pour la création de voirie dans le futur. Il souligne tout d'abord la nécessité de « réserver la création de voirie principale à la satisfaction des seuls besoins de liaison entre quartiers ou de contournement ». Ainsi, aucune artère radiale ne pourrait être créée pour assurer la desserte du centre-ville. Le second principe renvoie au principe de « capacité de réseau constante ». Il assure que toute création de voirie nouvelle sera couplée à une détérioration de l'emprise de l'automobile sur les voiries équivalentes. Autrement dit, une création de voirie se traduira sur les sections routières « parallèles » par un aménagement pour les transports en commun (couloirs réservés pour les bus, par exemple).

\*  
\* \*

Ainsi, la construction massive d'infrastructures routières reliant le centre aux quartiers périphériques, en pleine expansion dans les années 1960 et 1970, laisse place à une réflexion sur le couplage politique urbaine et politique de déplacement. Cette démarche d'accessibilité différenciée et, plus généralement, d'intermodalité vise à répondre à un besoin croissant de mobilité tout en préservant la cohésion sociale et une évolution urbaine trop extensive. Les transports en commun apparaissent ainsi comme la pierre angulaire d'une architecture urbaine reposant sur un centre-ville dominant. Au regard de cette politique, il convient alors d'analyser les pratiques de mobilité des strasbourgeois ainsi que leur évolution.

## IV Les pratiques de mobilité des Strasbourgeois

Les Strasbourgeois présentent des pratiques de déplacement que l'on pourrait qualifier d'atypiques et qui ne cessent de s'affirmer au fil des années. Pour caractériser ces spécificités, nous avons choisi deux angles d'approche.

Dans un premier temps, nous faisons état des niveaux et évolutions principales des indicateurs de mobilité (modes et motifs de déplacements mais également temps de transport). Les pratiques de mobilité sont évaluées pour

les résidents de notre aire d'étude, à savoir les Strasbourgeois et les Illkirchois, puis mises en perspectives avec celles des résidents de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS). Les Enquêtes Ménages Déplacements (EMD) menées en 1988 et en 1997 nous servent de base de travail. La réalisation d'une EMD antérieurement puis postérieurement à la mise en place de la première ligne de tramway (en 1994) est intéressante pour analyser les effets d'une amélioration de l'offre de transport en commun sur les pratiques de mobilité. Gardons-nous toutefois d'en produire des conclusions trop hâtives en raison du faible recul entre la mise en service du premier tronçon de la ligne A du tramway (fin 1994) et l'enquête de 1997 et, par ailleurs l'absence au moment de l'EMD 97 des lignes de tramway B, C et D.

Notre deuxième angle d'approche s'intéresse aux usagers du tramway. Après avoir souligné l'importance du tramway dans la politique de transport développée à Strasbourg, nous nous interrogeons dans cette troisième section sur les caractéristiques des clients du tramway et sur l'usage qui est fait de ce mode. Tout en conservant un « degré de précaution » lié au manque de recul et à la seule prise en compte de la ligne A du tramway, l'analyse de l'EMD de 97 nous permet d'envisager un début de réponse aux questions suivantes :

1. Qui se déplace en tramway ?
2. Pour quel(s) type(s) de déplacements le tramway est-il utilisé ?
3. Le tramway est-il privilégié par rapport aux autres modes ?

### IV.1 Des pratiques de déplacements atypiques

Les Strasbourgeois<sup>24</sup> sont caractérisés par un niveau de mobilité élevé et qui ne cesse de s'accroître. Selon les données du CERTU [37], pour toutes les agglomérations ayant réalisé au moins une EMD, Strasbourg est une des seules agglomérations avec Grenoble et Reims à afficher un nombre moyen de déplacements quotidiens supérieur à 4.1 (en 1997). Sur l'ensemble de la CUS, le nombre de déplacements quotidiens est de 4.53 en 1997 et il atteint 4.9 pour les Strasbourgeois et les Illkirchois. Il faut souligner que la mobilité tend à progresser même si son accroissement est plus faible à l'échelle de notre aire d'étude (+4% entre 1988 et 1997) qu'à l'échelle de la CUS (+12%).

---

<sup>24</sup>Au sens large des résidents de la CUS, comme au sens plus précis des habitants de Strasbourg et Illkirch.

### IV.1.1 Les pratiques modales

Les différences de périmètres et, par conséquent, de types de déplacements et de populations nous conduisent à observer des résultats différents sur les pratiques modales entre le périmètre de notre aire d'étude et celui, plus large, de la CUS. A l'échelle de Strasbourg et Illkirch, l'accroissement de mobilité a essentiellement profité à la marche à pied (+6 points) et, dans une moindre mesure à la voiture particulière (+2 points) et aux transports en commun (+0.5 points). Malgré la réorganisation du réseau, la voiture est, en tant que conducteur ou passager, le mode le plus utilisé avec une part de marché de 55% en 1997 suivie de la marche à pied (28%) et des transports en commun (6.6%). A l'échelle de la CUS, la voiture particulière et les transports en commun, avec une part de marché en croissance respectivement de 2% et 3%, sont les principaux bénéficiaires de l'accroissement de mobilité. L'ADEUS [1] souligne qu'en réalisant 52% des déplacements des résidents de la CUS, la voiture particulière garde une part de marché « relativement modérée comparée aux autres agglomérations françaises<sup>25</sup> ».

### IV.1.2 Des déplacements orientés vers les loisirs

Les déplacements des Strasbourgeois et Illkirchois présentent la caractéristique d'être fortement orientés vers les motifs de loisirs. Ainsi, en 1988, 22% des déplacements sont réalisés dans un but de loisirs ou d'achat tandis que 19.5% sont à destination d'un lieu d'étude ou de travail. Cette particularité est toujours aussi présente en 1997 : les motifs « loisirs » et « achats-services » concernent désormais 30% (15% achats et 15% loisirs) des déplacements quotidiens et les motifs scolaires ou professionnels « seulement » 22%. Strasbourg se distingue des principales agglomérations françaises dont la part des déplacements pour motifs « achats-services » ne dépasse généralement pas 11%. Elle se rapproche davantage des pratiques rencontrées dans les agglomérations allemandes, suisses ou néerlandaises.

---

<sup>25</sup>Au sein de périmètre EMD 2000 de Rennes, la part de marché de la voiture atteint par exemple 60%

### IV.1.3 Des durées de déplacement stables mais des budgets temps de transport croissants

Malgré l'accroissement de mobilité observé, la durée moyenne d'un déplacement est restée stable entre 1988 et 1997 aux alentours du quart d'heure (15 minutes en 1988 et 16 minutes en 1997). De même, aucune tendance ne se dégage réellement lorsque l'on observe l'évolution de la répartition des déplacements selon leur durée. En 1997, la majorité des déplacements présente une durée inférieure à 15 minutes et 16% des déplacements durent plus de 30 minutes.

Le budget temps de transport (BTT) est défini comme le temps total journalier consacré par une personne à se déplacer. Il s'agit donc de la somme des temps de déplacements « porte à porte » réalisés par un individu en tenant compte des trajets terminaux qui s'effectuent à pied, des éventuels temps d'attente aux arrêts du réseau de transports collectifs ou de recherche d'un stationnement. Le budget temps de transport moyen d'un individu résidant à Strasbourg ou Illkirch est passé de 69 minutes (avec un BTT médian de 60 minutes) en 1988 à 80 minutes (avec un BTT médian de 70 minutes) en 1997.

Au vu des résultats, une tendance générale semble se dessiner : les résidents de Strasbourg et Illkirch présentent, en 1997, un BTT quotidien plus élevé que celui de l'ensemble des résidents de la CUS (BTT moyen de 75 minutes et BTT médian de 64 minutes). Ces résultats sont par ailleurs confirmés par l'étude menée par Joly *et al.* [99]. L'explication de ce résultat pourrait résider dans les multiples opportunités offertes par cette zone centrale mais également par une vitesse de déplacement plus faible qu'en zone périphérique. Elle pourrait également être liée aux effets de structure et provenir des caractéristiques des Strasbourgeois et Illkirchois qui favorisent un BTT élevé (âge, CSP...). Ainsi, sur le périmètre de l'EMD 97, le BTT passe ainsi de 47.6 minutes pour les enfants de moins de 12 ans à 83.8 minutes pour les « 18-25 ans ». Si l'on observe les données de 1997 (et ce, quel que soit le périmètre), la classe des « 18-25 ans » est celle qui présente le BTT moyen par individu le plus important suivie par les « 25-30 ans » et « 30-40 ans ». De même, le BTT semble positivement corrélé avec le niveau d'étude. Ainsi, pour 1997, jusqu'au niveau « Bac+2 », le BTT moyen ne cesse de croître pour atteindre 71.6 minutes, en raisonnant sur le périmètre de la CUS. En revanche ce BTT

diminue lorsque le niveau d'étude dépasse « Bac +2 », peut-être en raison d'une valeur du temps de transport élevée.

## IV.2 Usages et usagers du tramway

Nous nous intéressons à la place du tramway dans la mobilité quotidienne des habitants de Strasbourg et Illkirch au travers de deux angles d'approche. Nous nous plaçons tout d'abord du côté de l'utilisateur du tramway pour étudier son profil ainsi que ses « motivations » à se déplacer en tramway. Dans un second temps nous orientons notre analyse sur une éventuelle spécificité du mode tramway en termes de motifs de déplacements et de son positionnement vis-à-vis des autres modes de transports.

### IV.2.1 Photographie des usagers du tramway

Notre photographie des usagers du tramway est établie à partir d'un échantillon de 134 individus ayant réalisé 235 déplacements en tramway la veille du jour de l'enquête (EMD 97)<sup>26</sup>. Elle se centre autour de cinq caractéristiques propres aux individus : le sexe, l'âge, la profession et catégorie socioprofessionnelle (PCS), la possession d'une voiture particulière et le budget temps de transport. Nous comparons les différentes modalités prises par chacune de ces variables pour les usagers du tramway, pour l'ensemble des individus enquêtés résidant sur les communes de Strasbourg et Illkirch (les deux communes desservies par la ligne A du tramway) et, lorsque cela s'avère pertinent, pour l'ensemble des individus enquêtés de la Communauté Urbaine de Strasbourg. De cette photographie des usagers du tramway nous pouvons tirer plusieurs enseignements :

- Les usagers du tramway sont majoritairement des femmes. Alors qu'elles représentent 52% de l'échantillon, les femmes représentent 54,5% des utilisateurs du tramway.
- La tranche d'âge des 18-35 ans utilisant le tramway est sur-représentée. Les 18-35 ans forment 50% des usagers tandis que cette tranche d'âge ne représente que 29% des individus résidant à Strasbourg ou Illkirch et également 29% des individus résidant dans la CUS.
- Concernant la profession et catégorie socioprofessionnelle, on constate que les employés, les inactifs ainsi que les professions intermédiaires

---

<sup>26</sup>La méthodologie de réalisation des EMD est détaillée dans l'ouvrage [33].

sont sur-représentés. Alors que ces trois catégories représentent respectivement 24%, 16% et 14% de la population enquêtée, elles forment respectivement 32%, 24% et 20% des usagers du tramway.

- La grande majorité des usagers du tramway (plus de 70%) réside dans une zone desservie par le tramway<sup>27</sup>. Parmi l'ensemble des individus mobiles résidant Strasbourg ou Illkirch, seuls 55% sont localisés « à proximité » du tramway<sup>28</sup>.
- La part des usagers du tramway ne possédant pas de voiture se situe aux alentours de 34% tandis que celle de l'ensemble des individus est de 15%.
- Les usagers du tramway sont enfin caractérisés par un budget temps de transport (BTT) quotidien nettement plus élevé que celui de l'ensemble des individus mobiles. Alors que le BTT moyen pour l'ensemble de l'échantillon résidant dans la CUS est de 75 minutes (médiane : 64 minutes), il est de 80 minutes pour l'échantillon résidant à Strasbourg et Illkirch (médiane : 70 minutes) et de 108 minutes (médiane : 95 minutes) pour les usagers du tramway.

### IV.2.2 Une utilisation du tramway recentrée sur certains motifs

Le tramway ne se distingue pas véritablement des autres modes de transport en termes de motifs de déplacements et ce, bien qu'il présente certaines particularités. Le tramway suit la tendance de répartition des motifs, tant à l'origine qu'à destination, observée sur l'ensemble des autres modes. Ainsi le motif « domicile » reste le motif principal de déplacement tant à l'origine qu'à destination (pour plus de 30% des déplacements le domicile est à l'origine ou à destination) devant les achats, le travail et les loisirs. Une des spécificités du tramway réside dans le nombre limité de motifs pour lesquels il est utilisé. Alors que sur l'ensemble des modes de déplacements, neuf motifs de déplacements sont mentionnés, les utilisateurs du tramway n'ont invoqué que six motifs. On constate ainsi que les motifs « garderie-école » et « dépôt-reprise » sont absents - soulignons toutefois qu'ils ne représentent que 2% et 7% des motifs à destination de l'ensemble des modes hors tramway. L'absence du motif « garderie-école » peut s'expliquer par la présence de crèches ainsi que d'écoles maternelles et primaires dans tous les quartiers

---

<sup>27</sup>On parle ici de zones en fonction du découpage de l'EMD 97.

<sup>28</sup>La part des habitants de la CUS résidant à proximité d'une ligne de tramway est de 22%.

de Strasbourg et Illkirch. Il n'en va pas de même pour les collèges et lycées qui génèrent des déplacements plus longs nécessitant l'utilisation d'un mode autre que la marche. Il est, à ce propos, intéressant d'observer que la part des déplacements réalisés en tramway ayant pour origine ou destination un établissement d'enseignement secondaire s'élève à respectivement 10% et 8,5% tandis qu'elle est inférieure à 3% pour les déplacements réalisés avec un mode autre que le tramway.

### IV.2.3 Des déplacements en tramway plus longs que la moyenne

Au-delà du « recentrage » des motifs liés aux opportunités spécifiques qu'offrent les zones desservies par le tramway, les déplacements en tramway présentent la particularité d'être plus longs que les autres déplacements. De fait, la durée moyenne d'un déplacement effectué en tramway est de 21 minutes et 30 secondes (avec une médiane de 20 minutes) tandis que la durée moyenne d'un déplacement réalisé avec un autre mode ne dépasse pas 16 minutes et 30 secondes (50% des déplacements ont une durée inférieure à 15 minutes). Notons toutefois que si la durée moyenne d'un déplacement en tramway est supérieure de 6 minutes environ à celle d'un déplacement en voiture ou en véhicule 2 roues motorisé, elle reste néanmoins inférieure à celle d'un déplacement en bus. Au vu de ces résultats, nous pouvons nous demander si la durée « relativement plus importante » d'un déplacement en tramway est liée à une plus grande distance parcourue ou bien si elle s'explique par la vitesse intrinsèquement plus faible du tramway.

### IV.2.4 Le tramway : un mode qui cherche encore sa place en 1997

L'objectif est dès lors de montrer si le tramway est, ou n'est pas, un mode de déplacement privilégié par les résidents de la CUS. Pour ce faire, nous analysons les déplacements réalisés entre deux zones desservies par le tramway et notamment les modes utilisés. Nous posons alors l'hypothèse - simplificatrice- qu'un déplacement peut être effectué en tramway dès lors qu'il est réalisé entre deux zones desservies par le tramway. Sur l'ensemble des déplacements recensés dans l'enquête ménages, 5 158 sont réalisés entre deux zones desservies par le tramway (quel que soit le mode utilisé). La répartition des déplacements entre deux zones desservies par le tramway selon le mode utilisé est présentée dans le tableau 1.

La lecture du tableau 1 nous enseigne que la part des déplacements en



## CHAPITRE 2

---

Mode	MAP	2 roues	Bus	Tram	VP	Autres	Intermodalité
Fréquence	50.5%	6%	2.5%	4.5%	34%	0.5%	2%

TAB. 1 – Répartition des déplacements, réalisés entre deux zones desservies par le tramway, selon les modes

tramway reste marginale au regard de celle de la marche et de la voiture. Malgré la présence du tramway sur leur itinéraire, les individus ont tendance à choisir un autre mode. Ces résultats peuvent s'expliquer par différentes hypothèses, parmi lesquelles :

1. Certains déplacements seraient plus longs en tramway qu'avec un autre mode (la marche, par exemple).
2. Certains déplacements nécessitent un mode plus « approprié » que le tramway (déplacements avec des enfants ...).
3. Le tramway ne dessert pas précisément le quartier origine et/ou destination du déplacement.
4. La volonté des individus d'utiliser un autre mode.

Nous ne disposons pas de données précises pour développer les hypothèses 2, 3 et 4. En revanche nous pouvons examiner de plus près la répartition des modes selon les distances parcourues. Pour ce faire, nous séparons les déplacements réalisés entre deux zones desservies par le tramway en deux catégories selon qu'ils aient leur origine et destination dans la même zone ou non. Ainsi sur les 5 158 déplacements étudiés dans cette section, 60% sont des déplacements intra-zone (déplacements effectués au sein d'une même zone Iris). On peut donc supposer que ces déplacements sont de courte distance (inférieurs à 2.5 km). Pour ces déplacements intra-zone, la répartition modale est présentée dans le tableau 2.

Mode	MAP	2 roues	Bus	Tram	VP	Autres	Intermodalité
Fréquence	67%	5%	1%	1.5%	25%	0.5%	0%

TAB. 2 – Répartition des déplacements intra-zone (dans une zone desservie par le tramway) selon les modes

Lorsque la distance se réduit, la part de la marche augmente pour atteindre 67%. Cette hausse entraîne une baisse de la part de l'ensemble des

autres modes mais se fait toutefois essentiellement au détriment de la voiture et du tramway. Les résultats reflètent cependant de grandes disparités entre les différentes zones. Ainsi les déplacements intégralement réalisés au sein des zones Iris du centre-ville se font à pied pour plus de 70% d'entre eux (jusqu'à 86% dans le centre historique), la part de la voiture restant toujours inférieure à 20%. A l'inverse, dans les zones Iris périphériques, dont la superficie est plus importante, la part des déplacements réalisés en voiture peut atteindre 50% (comme au sein de la Plaine des Bouchers). La faible part des déplacements intra-zone réalisés en tramway peut s'expliquer par la faible superficie des zones traversées par le tramway (notamment au centre) qui dessert au maximum trois arrêts.

Analysons maintenant, à partir du tableau 3, les 40% de déplacements inter-zones, déplacements supposés être plus longs en distance que les précédents, effectués intégralement dans la même zone Iris 2000.

Mode	MAP	2 roues	Bus	Tram	VP	Autres	Intermodalité
Fréquence	26%	7%	4%	9%	48.5%	0.5%	5%

TAB. 3 – Répartition des déplacements inter-zones (entre deux zones desservies par le tramway) selon les modes

Lorsque la distance augmente, la part des déplacements réalisés à pied diminue de moitié. Cette diminution est principalement compensée par une hausse de la part dévolue à la voiture qui, en atteignant 48.5% a plus que doublé, et de la part du tramway qui avoisine les 9%. Notons également que les déplacements intermodaux qui étaient absents pour les déplacements intra-zone, présentent une part de marché de 5%.

Pour conclure notre analyse sur les usages et usagers du tramway, nous pouvons dégager le constat selon lequel le tramway apparaît pour les individus mobiles comme un mode de déplacement ciblé tant en termes de zones de pertinence que d'opportunités desservies. En 1997, soit moins de trois ans après sa mise en service, il semble peiner à trouver sa place. Sa zone de pertinence se situant (dans notre cas) entre le quartier, dévolu à la marche à pied, et la commune où règne l'automobile, il tend à être utilisé soit par des usagers captifs (comme les inactifs), soit par des usagers à destination d'opportunités précises (les lycéens, les employés du secteur tertiaire). Dans

ce dernier cas, en desservant de nombreuses aménités, le tramway s'inscrit pleinement dans l'organisation urbaine.

\*  
\* \*

Cette section nous offre un panorama des pratiques de mobilité des Strasbourgeois. Notre objectif n'est pas de fournir une analyse détaillée des comportements de déplacement (les analyses des enquêtes ménages déplacements publiées par le CERTU ou l'ADEUS en font état) mais plutôt de relever les « spécificités strasbourgeoises ».

Le caractère atypique des déplacements strasbourgeois réside dans leur volume mais également dans les modes empruntés et les motifs recherchés. Ainsi, la mobilité élevée des Strasbourgeois, qui ne cesse par ailleurs de croître, est, comparativement aux autres agglomérations françaises, moins liée à la voiture particulière et plus orientée vers les motifs de loisirs ou d'achats. La quasi stabilité de la durée d'un déplacement, entre 1988 et 1997, n'empêche pas un accroissement du budget temps de transport par individu. Ce dernier est expliqué par une augmentation du nombre de déplacements quotidiens. En complément à ces éléments, qui ne soulignent pas un renversement de tendance suite à la réorganisation de la politique de transport mais plutôt à un renforcement des habitudes existantes, nous avons souhaité nous intéresser à l'usage et à l'usager du tramway.

L'usager type du tramway est une femme âgée de 18 à 35 ans, employée ou inactive, et qui réside à proximité d'une ligne de tramway. L'utilisation qu'il/elle en fait est recentrée sur certains motifs (achats, collège, lycée) corréls avec la localisation du tramway au sein de l'espace urbain. Le tramway, moins de trois ans après sa mise en service, ne semble pas totalement intégré dans les pratiques de déplacements (l'absence de données nous empêche d'évaluer l'impact du tramway au-delà de cette date). Ainsi, entre 9% et 15% des déplacements, dont l'origine et la destination se situent au sein d'une zone EMD desservie par le tramway, sont réalisés totalement ou partiellement en tramway.

## V Conclusion du chapitre 2

Le choix de Strasbourg comme terrain d'étude repose sur trois dimensions principales. La première, la plus prosaïque sans doute, renvoie à la disponibilité des données. Peu nombreuses sont en effet les agglomérations, ayant mis en service « récemment » une infrastructure de transports en commun en site propre et, pour lesquelles nous disposons de données précises concernant la mobilité, la structure des réseaux de transport et les caractéristiques socioéconomiques du territoire et de sa population. Strasbourg, avec Rennes, Grenoble et Lyon, nous offre cette opportunité.

La seconde raison s'appuie sur les politiques urbaine et de transport, complémentaires, mises en œuvre pour réorganiser les conditions de déplacements et recomposer l'espace urbain. Ainsi, à l'ère du « tout automobile » des années 1950 à 1980 qui a offert à Strasbourg une position stratégique au cœur d'un nœud autoroutier dont la vocation ne se limite pas à l'échelle locale, succède, à partir des années 1990, une politique désireuse d'offrir une réelle alternative à l'automobile. Le développement du réseau de transports en commun avec la mise en service de quatre lignes de tramway entre 1994 et 2000 se fait au détriment de la voiture particulière dont l'usage est fortement contraint en centre-ville, à l'inverse des modes doux. Il convient, en effet, de replacer cette politique de transport dans une optique plus large de re-composition urbaine. L'automobile ayant accéléré le développement périurbain de la ville, l'un des objectifs consiste à renforcer le poids du centre-ville en le plaçant au cœur d'un réseau de transports en commun performants. Le second pan de la politique urbaine relève de la cohésion territoriale. Ainsi le Plan de Déplacements Urbains prévoit de réduire l'écart d'accessibilité au centre-ville entre les différents quartiers en améliorant l'offre de transports en commun depuis les quartiers périphériques enclavés. De fait, les différents quartiers de Strasbourg présentent des typologies différentes. Les quartiers centraux et de l'Est de l'aire d'étude sont essentiellement composés de cadres et de professions intermédiaires. La localisation centrale des emplois tend à leur en favoriser l'accès. A l'inverse, les quartiers Ouest et Sud présentent une population active plus hétérogène où les employés, ouvriers et professions intermédiaires sont fortement représentés.

La troisième raison qui nous a conduit au choix de Strasbourg réside dans les pratiques de mobilité atypiques de ses habitants. Ainsi, la mobilité de ces

derniers présente des caractéristiques qui la rapprochent davantage des pratiques allemandes ou suisses tant par l'usage modéré de la voiture particulière qu'en raison de la part importante des déplacements réalisés pour un motif de loisirs ou d'achats. L'arrivée du tramway en 1994 n'a fait que renforcer les tendances existantes en termes de pratiques de déplacements. La dernière EMD administrée trois ans après la mise en service de la première ligne de tramway ne permet pas d'avoir un recul suffisant pour conclure sur l'impact du tramway sur les comportements de mobilité. Toutefois, une analyse sur l'usage et les usagers du tramway montre que ce mode est emprunté par des individus captifs, jeunes et pour une utilisation recentrée sur des motifs liés aux opportunités présentes dans la zone de chalandise du tramway (emplois tertiaires, collèges ou lycées, achats).

## Conclusion de la partie I

Cette première partie, en présentant les bases analytiques et empiriques à la mise en œuvre de mesures d'accessibilité, pose les fondations sur lesquelles nous construisons notre travail.

La littérature recense une variété d'approches du concept d'accessibilité et diverses mesures qui en résultent. Parmi elles, nous retenons plus particulièrement les mesures qui intègrent simultanément le coût du déplacement (par le biais de la mesure de la séparation spatiale ou temporelle) et l'utilité procurée par l'opportunité atteinte à destination. Les mesures gravitaires font partie de celles-ci. Pour les mobiliser dans la suite de notre étude, nous cherchons alors à montrer en quoi ces mesures gravitaires sont pertinentes et cohérentes avec la théorie économique. Le respect des axiomes de Weibull d'une part, et la cohérence entre le modèle gravitaire de distribution spatiale et le calcul économique traditionnel d'autre part, sont deux démonstrations qui permettent de justifier l'application de mesures gravitaires sur un terrain d'étude empirique.

Le cas de Strasbourg nous apparaît intéressant à étudier pour plusieurs raisons qui vont au-delà de la simple disponibilité de la donnée. Par rapport aux autres agglomérations françaises, la « spécificité strasbourgeoise » réside dans la politique de transport mise en œuvre ainsi que dans les pratiques de déplacements des habitants. Après un développement de l'infrastructure routière et autoroutière, initié dès les années 1950 de façon concomitante à l'extension urbaine, la ville de Strasbourg, et plus généralement sa communauté urbaine, a modifié ses orientations en matière de politiques urbaine et de transport. Les années 1990 ont ainsi été marquées par une politique de « ré-investissement du centre-ville » se traduisant par une restructuration du réseau de transports en commun et la création de quatre lignes de tramway entre 1994 et 2000. Strasbourg, qui dispose en 2008 du plus grand réseau de tramway de France, présente également des pratiques de mobilité atypiques. L'amélioration de l'offre en transports en commun ne fait ainsi que renforcer la tendance à une plus faible utilisation de la voiture particulière et à une plus forte part de déplacements pour des motifs de loisirs que dans les autres agglomérations françaises.

## *CONCLUSION DE LA PARTIE I*

---

Une fois déterminés et justifiés le terrain d'étude et la mesure de l'accessibilité à appliquer, il convient de s'attacher à la mise en œuvre de mesures gravitaires sur l'aire d'étude strasbourgeoise. Pour ce faire, l'élaboration d'un Système d'Information Géographique est envisagée.

## Deuxième partie

### Le SIG : un outil au service de l'accessibilité



## Introduction de la partie II

Il existe sans doute autant de définitions de systèmes d'information géographique qu'il y a de SIG<sup>29</sup>. Le concept de SIG ayant évolué au fil des ans, des utilisateurs et des applications, il est difficile aujourd'hui de le définir de manière consensuelle. Toutefois, en dépit de ces « apparentes divergences », Bordin [24] met en avant un objectif unique : « il s'agit d'utiliser les moyens de plus en plus performants, mis à notre disposition par l'informatique, pour exploiter cette information particulière qu'est l'information géographique ». Le volet technique du SIG-logiciel et le volet application du SIG-projet sont intimement liés, le premier permettant la réalisation du second qui soulève de nouvelles questions à résoudre par le premier. Le SIG est ainsi un outil informatique qui permet de traiter et de représenter des données spatiales dans une optique d'analyse et d'aide à la décision (Jiang *et al.* [97]). Les transports et l'aménagement du territoire constituent deux des applications principales des SIG (Longley *et al.* [119]).

Utilisés plutôt dans une optique de gestion du trafic ou de réalisation d'infrastructures nouvelles, nous nous proposons dans notre travail de mobiliser les SIG pour mesurer l'accessibilité aux emplois des usagers des transports en commun et des automobilistes. La dimension spatiale est prépondérante dans ce travail. Grâce à l'association de la localisation des réseaux de transport et de la localisation des opportunités, le SIG nous permet de répondre aux questions suivantes (Denègre et Salgé [54]) :

- Où ? : Où les emplois, les réseaux de transport sont-ils localisés ?
- Quoi ? : Quels sont les réseaux de transport ? Quel est le niveau d'offre (capacités de la voirie, nombre, vitesse et fréquence des lignes de transports collectifs) ? Quel est le volume d'emplois de chaque zone ? Les emplois sont-ils concentrés ou dispersés sur le territoire ?

---

<sup>29</sup>Pour qualifier les systèmes d'information géographique, la littérature recense plusieurs appellations au-delà de l'acronyme SIG. Celles-ci varient selon les pays, les contextes et les époques. Parmi elles, on peut citer les Systèmes d'Information à Référence Spatiale (SIRS) utilisés au Québec ou les Systèmes d'Information du Territoire (SIT) (utilisés dès les années 1970) mis en place sur de grands territoires. A l'échelle de la ville, les Bases de Données Urbaines (BDU) ou les Systèmes d'Information Urbains (SIU) sont également utilisés.

– Comment ? : Comment peut-on relier les habitants aux emplois ? En voiture particulière ? En transports en commun ?  
... mais ne permet pas répondre à la question en combien de temps. Cette lacune des SIG classiques et les spécificités de notre travail nous amènent à considérer les SIG dédiés au transport : les SIG-T.

L'acronyme SIG-T renvoie à l'adaptation et à l'application du SIG pour traiter des problématiques propres au transport. Toutefois, comme le souligne Thill [164], le SIG-T n'est pas seulement une application de plus que l'on peut faire d'un SIG mais les étapes d'intégration, de manipulation et d'analyse de données lui confèrent un statut spécial par rapport à l'ensemble des SIG. La particularité des SIG-T tient au fait qu'ils intègrent des réseaux de transport et permettent ainsi d'apporter une réponse à la question « combien de temps ? ». Les réseaux sont construits à partir d'arcs représentant les tronçons et de nœuds représentant les connexions entre les tronçons, l'intersection de deux arcs ne pouvant se faire qu'avec un nœud. Contrairement aux SIG qui peuvent être constitués d'un réseau, dans le cadre de SIG-T les éléments du réseau (arcs et nœuds) constituent en eux-même des éléments d'analyse, par le biais des attributs qui leur sont associés. Aux nœuds peuvent ainsi être associés des restrictions (interdiction de tourner à droite ou à gauche, par exemple) tandis que les arcs peuvent être caractérisés, par exemple, par leur capacité, sens de circulation, vitesse de circulation en fonction des conditions de trafic...

Des attributs liés à chaque type d'objet dépend l'utilisation du SIG-T dans une optique opérationnelle ou de planification. Les SIG-T, dans une optique de planification, sont utilisés pour visualiser les estimations de trafic et envisager des scénarii prospectifs. Ils ne nécessitent pas dans ce cadre de données précises et actualisées en temps réel mais reposent davantage sur des données moyennes (nombre moyen de véhicules par jour et par tronçon, vitesse moyenne). Dans une optique opérationnelle, les besoins concernent l'analyse des performances du réseau ou encore l'organisation de tournées (cas du représentant de commerce). L'intégration d'attributs dynamiques, comme la vitesse et la congestion en temps réel, ouvre de nouvelles voies d'investigation dans le cadre d'aide à la navigation par exemple. Dans cette optique, Thévenin [163] souligne que l'utilisation des SIG-T à des fins opérationnelles relève des situations à résoudre sur le court terme. Le contexte spatial et temporel nécessite un ajustement aussi fidèle que possible à la réa-

## *INTRODUCTION DE LA PARTIE II*

---

lité et implique une mise à jour fréquente des informations. Le passage entre la planification et l'opérationnel<sup>30</sup> nécessite l'évolution des données statiques en données dynamiques.

Thill résume alors le SIG-T comme un produit de la rencontre entre un « super SIG » et un « super Système d'Information dédié au transport ». Sous le trait de la caricature, le SIG-T peut être vu comme un outil de spécialistes pour les spécialistes et les non spécialistes. C'est dans cette optique que nous mettons en place notre SIG-T et mener ainsi une analyse spatiale à partir des temps et distances de déplacement pour comprendre les enjeux d'une politique de transport. Tandis que le chapitre 3 expose les différentes étapes de la mise en place d'un SIG-T sur l'aire d'étude de Strasbourg, le chapitre 4 « formate » notre outil pour intégrer les contraintes inhérentes à notre travail et pouvoir de ce fait, l'utiliser pour mesurer l'accessibilité en milieu urbain.

---

<sup>30</sup>Ces deux usages ne s'opposent pas mais sont au contraire complémentaires.

# Chapitre 3 : Construction d'un SIG dédié aux transports.

## Considérations méthodologiques et modélisation des réseaux de transport.

### I Introduction

Considérant l'intérêt que représentent les Systèmes d'Information Géographique dédiés au transport, tant en termes de représentation des données statiques que d'analyse dynamique, le présent chapitre expose les différentes étapes de la construction d'un SIG-T pour l'aire d'étude de Strasbourg et ce, en vue d'évaluer l'accessibilité aux emplois.

Mesurer l'accessibilité ne passe pas nécessairement par la réalisation d'un SIG (Masson [121], Raux [148]) et il convient d'expliquer notre choix. La principale raison qui nous a amenés à réaliser un SIG réside dans le souci de représenter le plus fidèlement possible la réalité. La description fine des réseaux de transport constitue, de fait, un enjeu majeur de l'analyse spatiale (Chapelon, [39]). Les calculs de longueur des déplacements, de temps de déplacement « en véhicule » mais également de temps d'attente sont réalisés précisément pour chaque déplacement. Les résultats varient, certes, selon le mode et l'itinéraire emprunté mais également l'heure de départ. Notre travail s'inscrivant à l'échelle communale voire infra-communale, les différentes phases du déplacement doivent être intégrées pour évaluer un coût de déplacement conforme à celui que ressentirait un individu *lambda*. Une se-

conde raison provient du caractère « novateur » de notre travail qui consiste à expérimenter une association entre l'économie des transports, l'ingénierie de transport et la géographie. Mesurer l'accessibilité pour évaluer la variation de surplus liée à la mise en place d'une politique de transport relève, à première vue, du champ de l'économie. Pour ce faire, estimer les coûts de transports et les temps de parcours (notamment des déplacements automobiles) en considérant le paramètre de congestion relève de l'ingénierie des transports. Représenter et analyser la structure spatiale dans laquelle sont intégrés ces calculs relève du domaine de la géographie. Comment, dès lors, associer simultanément ces trois disciplines si ce n'est par le lien du SIG ?

L'organisation du chapitre s'inscrit dans l'idée d'une complémentarité entre les différentes disciplines. Après la présentation de l'architecture et des fonctionnalités du SIG, à chaque section correspond un type d'information et une « couche thématique » du SIG. Nous détaillons ainsi la structuration des données en couches thématiques tout en précisant pour chacune d'elles les étapes d'acquisition de l'information. Les étapes d'analyse et de présentation des résultats seront abordées dans les chapitres 4, 5 et 6. La section III décrit ainsi le contexte géographique en insistant sur les données spatiales présentant et caractérisant l'aire d'étude. Ces informations sont à relier avec les données portant sur la localisation des emplois qui font l'objet de la section IV. Les opportunités que constituent les emplois sont pondérées dans le calcul de l'accessibilité par les coûts de déplacement nécessaires pour y accéder. Les deux sections suivantes s'attachent ainsi à aborder les questions liées à la modélisation des réseaux de transport, étape préliminaire au calcul du coût de déplacement. La section V présente la modélisation du réseau routier en insistant sur la détermination des vitesses automobiles. La section VI explique comment le réseau de transport, dans sa version 1993 et 2005, a été récréé dans le SIG de façon à associer l'ensemble des horaires et fréquences des lignes de bus et de tramway.

## II Architecture et fonctionnalités du SIG

### II.1 Une architecture à trois niveaux

Les logiciels de SIG permettent la mise en œuvre de chaînes de traitement des données. Deux types de logiciels co-existent selon que les données sont

générées à partir d'un modèle orienté objet de type Small World ou un modèle de type relationnel (Arc-View<sup>®</sup>, MapInfo<sup>®</sup>). Notre travail est réalisé à partir du logiciel MapInfo<sup>®</sup>, SIG « populaire » (Goodchild [80] repris in [163]) et largement utilisé dans le secteur des transports. Ce type de logiciel suit une architecture à trois niveaux à partir des données. A chacun de ces niveaux sont associées des tâches spécifiques et indépendantes :

- Le système de gestion de bases de données permet d'importer, de stocker et d'exporter les fichiers de données.
- Les outils de mise en forme des données représentent l'ensemble des fonctions dont dispose le SIG-logiciel pour traiter les données. C'est à ce niveau que sont réalisés les calculs ou opérations sur les données.
- L'interface graphique est le point d'entrée pour l'utilisateur dans le niveau « Outil de mise en forme des données ». Elle est constituée de menus déroulants, de barres d'outils.

Chacun de ces niveaux permet de réaliser une ou plusieurs tâches, appelées fonctionnalités du SIG.

### II.1.1 Les fonctionnalités du SIG

Le SIG présente quatre grandes catégories de fonctions, formant le cycle fonctionnel des SIG.

#### *L'acquisition des données*

La première fonction est celle d'acquisition des données, géographiques ou non. L'acquisition des données peut se faire soit par création (exemple du réseau routier ou des réseaux de transports en commun qui ont été numérisés à partir de plans papier), soit par importation de données existantes (fichiers existants, levées sur le terrain) comme pour la base de données regroupant le nombre d'emplois.

#### *La structuration des données*

La seconde fonction permet de gérer et de structurer les données. L'étape de structuration consiste à regrouper par thèmes les données acquises. A chaque thème correspond ainsi une couche thématique. Au sein de chaque couche, les objets sont caractérisés par leurs coordonnées et leurs attributs regroupés dans une table (fichier alphanumérique). Les tronçons des réseaux

routier et de transports en commun sont alors exportés vers le logiciel *DAVISUM* pour leur associer différents attributs et permettre l'analyse des données.

### *L'analyse et le traitement des données*

Cette troisième étape permet de répondre aux grandes questions posées aux SIG (Denègre et Salgé [54]). Pour ce faire, deux principales fonctions d'analyse existent : les fonctions de manipulation et les fonctions d'analyse. Les premières ont pour objet de transformer les données sans créer de nouvelles connaissances comme dans le cadre de transformations de données géométriques (par exemple, modification des attributs) ou de fonctions de connectivité (mesure de contiguïté). Les fonctions d'analyse visent à apporter une information nouvelle à partir des attributs des objets, principalement par le biais de la statistique. Elles débouchent généralement sur des représentations graphiques ou cartographiques simples (carte de densité, par exemple).

L'analyse spatiale consiste plus particulièrement à identifier les liens entre les objets par le biais de superpositions, d'intersections, de calculs de proximités et également à les mesurer. Pour ce faire, l'analyse spatiale est réalisée à partir de requêtes, basées sur des opérateurs spatiaux, qui permettent de relier différentes informations et, si besoin, de fusionner, de diviser ou de créer de nouveaux objets.

C'est au cours de cette étape que sont réalisés les calculs de temps de parcours et *in fine* d'accessibilité. Les distances et temps de déplacements sont déterminés grâce au logiciel *DAVISUM* tandis que les calculs d'accessibilité sont réalisés à partir du logiciel R.

### *La présentation des résultats*

Cette dernière fonctionnalité du SIG est sans doute la plus visible : l'affichage permet, par le biais de la visualisation, la communication des résultats. P. Bordin [24] distingue des sous-fonctionnalités d'affichage allant des fonctionnalités de visualisation aux fonctionnalités de rédaction de documents en passant par les fonctionnalités de production de carte, selon le niveau de finalisation dans la présentation de l'information géographique. La visualisation renvoie ainsi à la simple présentation des résultats qui est enrichie

par les fonctionnalités de production de cartes grâce à des outils de traitements de l'information graphique (éléments visuels de taille et de couleurs) et d'habillage de la carte (légende, titre, insertion d'images ...).

### III Intégration des données spatiales

La construction de la couche thématique « territoire » constitue la première étape dans la mise en œuvre de notre SIG comme illustré figure 4. Elle répond à trois objectifs :

- délimiter le contour de l'aire d'étude,
- renseigner sur le contexte géographique (espaces naturels, bâtis) et administratif (limites communales, limites entre quartiers),
- découper le territoire en micro-zones.

La zone d'étude de notre SIG correspond aux communes contiguës de Strasbourg et Illkirch-Graffenstaden, soit les deux communes desservies par la première ligne de tramway en 1994. Sur ce territoire, des données ont été collectées afin de localiser les différents espaces naturels (rivières et fleuves, forêts) ainsi que les espaces bâtis (bâti divers et zones industrielles). Parallèlement un découpage « fictif » de la zone d'étude en fonction des différents quartiers a été opéré. L'acquisition de ces données géographiques et administratives a été réalisée par une numérisation d'un plan papier (au 1/13000ème édité par l'ADEUS en 2005), fourni par la CUS. A partir de ce plan, chaque élément a été numérisé à la souris en mode vecteur selon la projection Lambert I Nord <sup>31</sup>.

Cette couche thématique « territoire » a, dans un second temps, fait l'objet d'un découpage en 1603 micro-zones de 250 mètres x 250 mètres. L'objectif d'un tel découpage est de mesurer l'accessibilité si ce n'est en tous points du territoire, au moins à un niveau zonal très fin. La figure 4 détaille les informations recensées sur la couche thématique « territoire ».

---

<sup>31</sup>Un système de projection est le procédé mathématique permettant de transposer l'ellipsoïde représentant la surface du globe sur le plan de telle sorte qu'à un point M de l'ellipse corresponde un point *m* et un seul du plan et réciproquement [15]. Il existe plusieurs ellipsoïdes de référence dont l'ellipsoïde GRS 80, utilisé notamment par l'IGN et qui fait référence à la projection Lambert 93. Cette dernière est la projection de référence en France et résulte d'une représentation conique de la surface du globe.



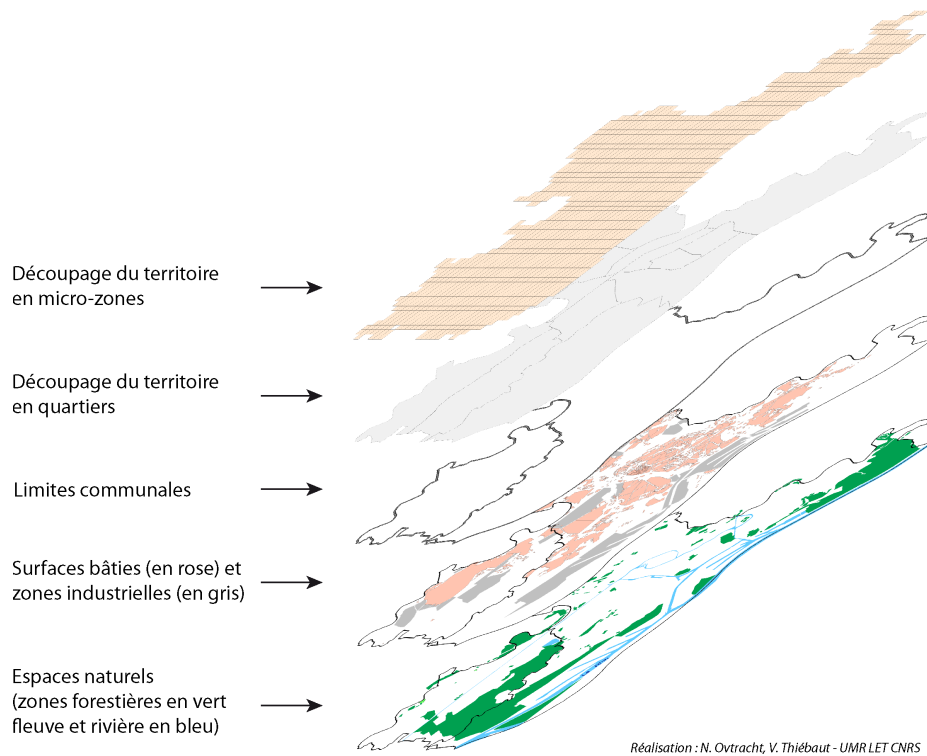


FIG. 4 – Décomposition de la couche thématique « territoire »

## IV Localisation des opportunités

L'accessibilité peut être mesurée pour différents types de masses attractives comme les emplois, les lieux d'achats ou de loisirs ou encore les logements [6]. Nous avons choisi de nous intéresser dans notre thèse à l'accessibilité aux emplois [169]. Certes, les déplacements reliant le domicile et le lieu de travail ne représentent que 16% des déplacements réalisés dans la Communauté Urbaine de Strasbourg [1] mais, outre leur caractère répétitif, ils présentent la particularité d'avoir une origine et une destination quasi invariantes (pour un individu donné). En déterminant fortement le choix du lieu de domicile, ces déplacements constituent un élément majeur à considérer pour la mise en place de politiques urbaine et de transport.

Le calcul d'indices d'accessibilité aux emplois à l'échelle de chaque micro-zones nécessite de connaître précisément la localisation des emplois sur l'aire

d'étude. Précisons, dans un premier temps, ce que l'on entend par le terme « emploi ». Le Petit Robert définit l'emploi comme ce à quoi s'applique l'activité rétribuée d'un employé, d'un salarié. Ainsi nous considérons le nombre d'emplois répertoriés dans la base SIRENE (dont la gestion est confiée à l'INSEE) pour les établissements de plus de 1 salarié auquel on ajoute le nombre d'établissements sans salarié<sup>32</sup>. Le répertoire SIRENE<sup>®</sup> rassemble les informations économiques et juridiques sur l'ensemble des entreprises et de leurs établissements situés sur le territoire français, quels que soient leur forme juridique et leur secteur d'activité. Certaines données contenues dans ce répertoire sont mises à disposition par l'INSEE à l'échelle de la commune. Toutefois, en travaillant à un niveau zonal très fin, cette échelle s'avère inappropriée. Les données d'emplois ont alors été acquises, pour les années 2003 et 2006, par le biais de la société Experian qui les diffuse à l'échelle de la zone « IRIS-2000 habitat ». Selon la définition de l'INSEE, ces zones forment un « petit quartier », qui se définit comme un ensemble d'îlots contigus. Les IRIS-2000 se déclinent en trois types de zones (habitat, activité, divers). Les zones « IRIS-2000 habitat » recensent entre 1800 et 5000 habitants et des types d'habitats homogènes.

Aucun organisme n'ayant pu nous fournir précisément les données d'emplois à une échelle plus fine que l'IRIS-2000, nous avons désagrégé le nombre d'emplois à l'échelle de nos micro-zones de 250m x 250m. La répartition du nombre d'emplois par micro-zone a été réalisée en divisant le nombre d'emplois total de la zone IRIS par le nombre de micro-zones, comme illustré dans la figure 5. A chaque micro-zone localisée au sein d'une même zone IRIS est ainsi attribué le même nombre d'emplois. Une localisation des emplois plus précise, certes plus judicieuse, est difficile en raison d'un manque d'information sur l'occupation des sols. Toutefois, ne pas redistribuer le nombre d'emplois en fonction de la surface bâtie et des zones industrielles ne pénalise par outre mesure les calculs d'accessibilité. En effet, les zones IRIS présentant la plus forte densité d'emploi, autrement dit celles qui présenteraient le plus d'enjeux en termes de redistribution par micro-zone, présentent une surface bâtie importante (souvent proche de 100% de leur surface totale). En outre, il s'avère impossible avec les données disponibles de distinguer sur une zone bâtie (hors zone industrielle ou assimilée, et hôpitaux) la surface dévolue à l'habitat de celle dévolue à l'activité économique et donc aux emplois.

---

<sup>32</sup>Précisons que cette méthode omet de comptabiliser les emplois des établissements de plus de 1 salarié ayant des non salariés.

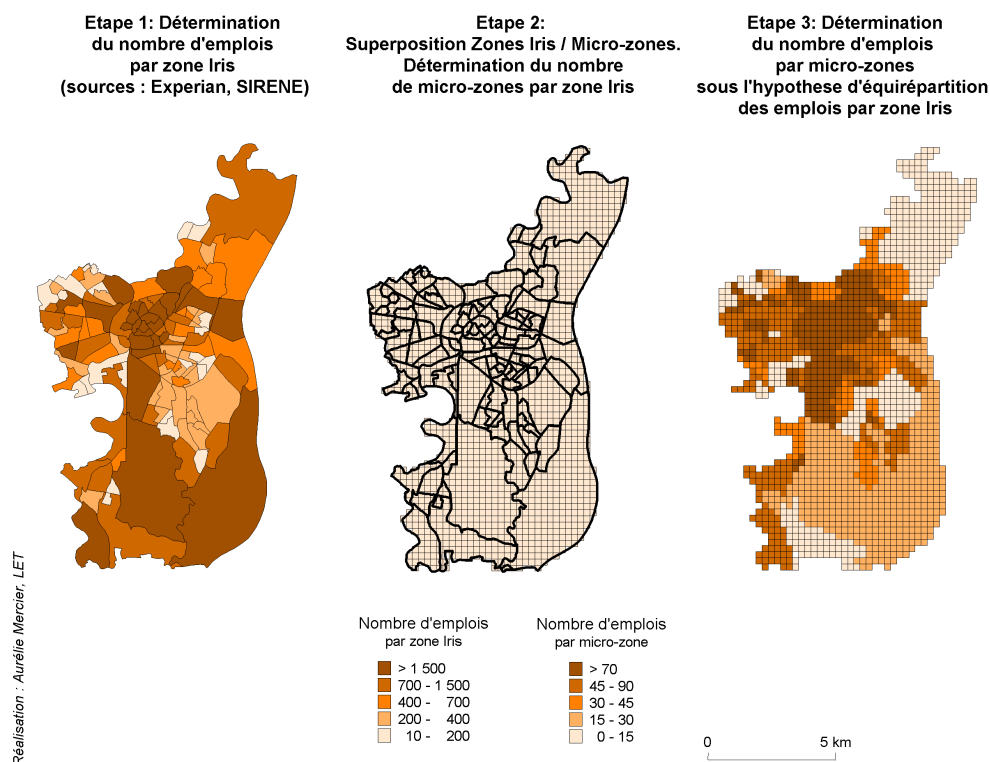


FIG. 5 – Méthode de distribution du nombre d'emplois par micro-zone

Les données sur le nombre d'emplois nous sont fournies pour les années 2003 et 2006 tandis que nos calculs d'accessibilité portent sur les années 1993 et 2005. Nous redressons le nombre d'emplois à partir du taux de variation annuel moyen entre 1990 et 1999, soit 1.9% par an pour les emplois situés sur la commune de Illkirch-Graffenstaden et 0.2% par an pour les emplois situés sur la commune de Strasbourg. Ne disposant pas de données plus précises, nous appliquons le même taux pour l'ensemble des emplois d'une même commune et ce, quelle que soit l'année entre 1993 et 2006.

## V Modélisation du réseau routier

La modélisation du réseau routier s'effectue en plusieurs étapes visant à intégrer les caractéristiques techniques propres au réseau et à envisager l'utili-

sation du réseau pour évaluer ainsi le niveau de congestion. L'intérêt de notre SIG n'est pas seulement de considérer une offre théorique mais de la replacer dans des conditions réelles tenant compte de la demande. Ainsi nous aborderons dans un premier temps la question de l'acquisition des données statiques telles la localisation des tronçons et leurs caractéristiques techniques. Dans un second temps, nous justifierons le choix d'un modèle à quatre étapes pour déterminer les conditions réelles de circulation et établir ainsi les vitesses sur chacun des tronçons du réseau.

## V.1 Méthode d'acquisition des attributs techniques du réseau

Le réseau routier est représenté par un graphe valué construit sous MapInfo<sup>®</sup>. Les sommets, auxquels sont associés les nœuds du réseau, sont reliés entre eux par des arcs représentant les tronçons de voies. Le réseau se compose ainsi de 3 555 nœuds et 10 402 tronçons.

La modélisation du réseau routier s'appuie sur le plan du réseau auquel sont associées la capacité et la vitesse pour chaque tronçon. Le réseau routier a été créé à partir d'un plan papier de la Communauté Urbaine de Strasbourg, numérisé, datant de 2005 (plan au 1/13000ème édité par l'ADEUS). A partir de ce fond d'écran en mode raster, les différents tronçons ont été numérisés, à la souris, en mode vecteur. L'acquisition du réseau routier s'est ainsi faite par création et non par simple transfert de données existantes. Les limites de ce type d'acquisition sont de deux ordres : au-delà de la retranscription des erreurs présentes sur le support d'origine, la vectorisation manuelle peut générer des erreurs de tracés (interruption de tracé, absence de connexions entre tronçons ...). Si les « imprécisions » présentes sur le plan papier peuvent difficilement être levées, un travail de vérification/correction a, en revanche, été mené sur le réseau vectorisé comme illustré par la figure 6.

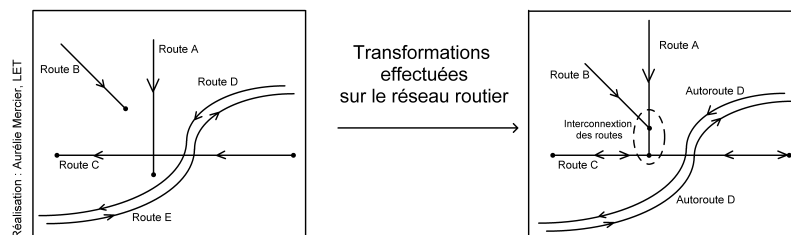


FIG. 6 – Exemple de corrections effectuées sur le réseau routier

Au-delà de ses coordonnées  $(x;y)$  selon la projection Lambert I Nord, chaque tronçon est caractérisé par les attributs suivants :

- **Code route** : dans un premier temps, 10 classes de routes ont été définies selon le type de voie, la capacité à vide, la vitesse à vide et, lorsque cela s'avère nécessaire la localisation (urbain dense, urbain non-dense, périurbain . . .) de chacun de ces tronçons.
- **Capacité à vide** : les données en termes de capacité à vide correspondent aux critères standards des différents types de voies. Elles nous ont été fournies par la société PTV.
- **Vitesse à vide** : les vitesses à vide correspondent aux vitesses maximales autorisées sur chaque type de tronçon.
- **Sens** (sens unique (1) ou double sens (2)) : cette caractéristique du réseau routier nous a amenés à construire un graphe composé de deux graphes partiels, l'un, non orienté, dont les arcs représentent les voies à double sens, et l'autre, orienté, dont les arcs représentent les voies à sens unique (autoroutes, routes à 2x2 voies, échangeurs) (CERTU, [36]).

Type	Code	Capacité à vide (veh/h)	Vitesse à vide (km/h)	Sens
Autoroute 2x3 voies	61	6000	130	1
Autoroute 2x2 voies	62	4000	130	1
Route 2x2 voies (hors milieu urbain dense, milieu interurbain)	63	4000	110	1
Route 2x2 voies (milieu urbain dense)	64	4000	90	1
Échangeur 2 voies	65	2400	50	1
Échangeur 1 voies	66	1400	50	1
Voie principale en milieu urbain dense (2x1 voie)	67	2400	50	2
Voie principale en milieu urbain peu dense (traversée d'agglomération)	68	1800	50	2
Voie principale hors milieu urbain dense	69	2000	90	2
Desserte locale hors zone urbaine dense	70	800	50	2

TAB. 4 – Nomenclature du réseau routier

Nous supposons que le réseau routier n'a pas évolué entre les années 1993 et 2005, date de notre plan papier. La structure du réseau routier intégré dans le SIG reste donc identique entre ces deux dates. Elle est représentée par la figure 7. Ces données de bases présentées dans le tableau 4 nous permettent de construire le SIG mais sont insuffisantes pour représenter fidèlement la réalité dans la mesure où elles n'intègrent pas le niveau de congestion sur les différents tronçons. Pour modéliser le niveau de trafic et, de fait, de congestion, nous mettons en place un modèle à quatre étapes traditionnellement utilisé dans la prévision de trafic.

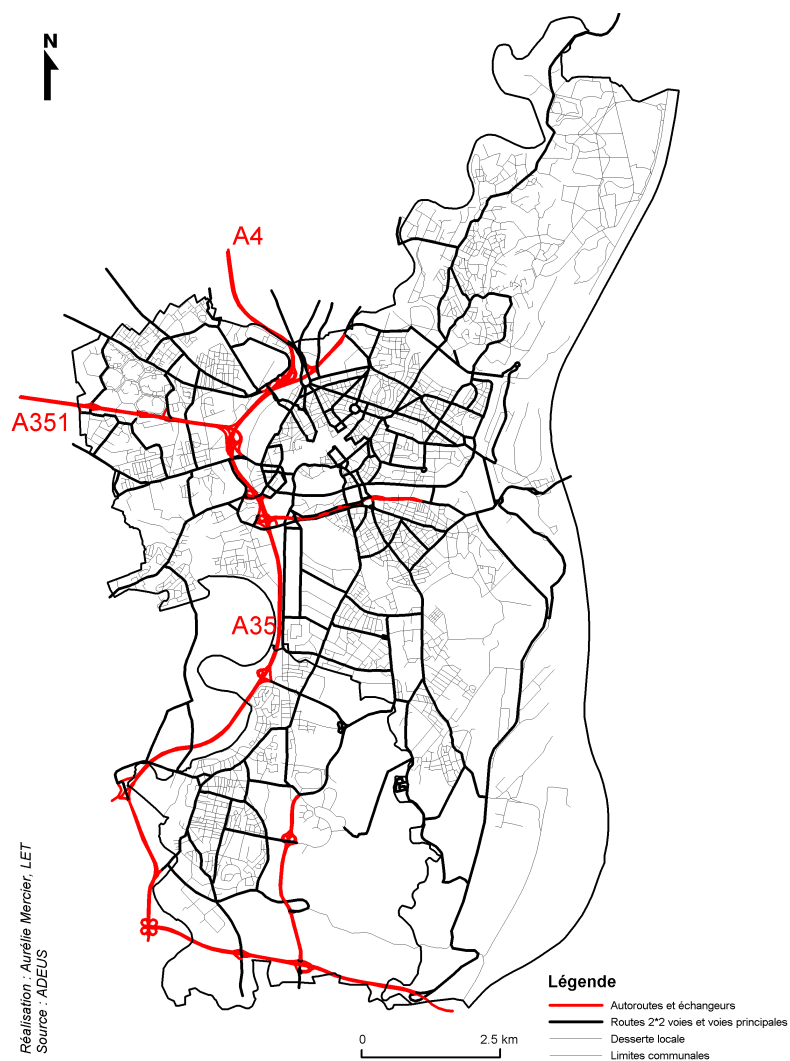


FIG. 7 – Représentation de la couche thématique « réseau routier »

*Quelques notions sur la théorie des graphes*

Si les premiers résultats issus de la théorie des graphes sont à mettre à l'actif d'Euler avec la résolution du problème des sept ponts de Königsberg en 1736, la formalisation de cette théorie date des années 1960 avec les travaux de Claude Berge notamment. La théorie des graphes est ainsi une branche récente des mathématiques utilisée principalement dans les domaines de l'informatique et de la géomatique mais également en chimie, en biologie ou dans les sciences sociales.

Les graphes sont utilisés pour représenter et modéliser de manière simplifiée un problème en se ramenant à l'étude de sommets et d'arcs. On peut ainsi définir un graphe comme un objet mathématique représentant la structure et les relations entre les éléments d'un ensemble (par exemple les réseaux de transports, de communication, sociaux...). Il existe deux grands types de graphes : les graphes orientés et les graphes non orientés (cf. figure 8). Contrairement aux graphes non orientés dans lesquels l'orientation des arcs ne joue aucun rôle, dans les graphes orientés un élément  $x$  peut être en relation avec un autre élément  $y$  sans que  $y$  soit nécessairement en relation avec  $x$ . Mathématiquement, un graphe est composé de deux ensembles :

- un ensemble  $X = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$  dont les éléments sont appelés sommets ou nœuds
  - un ensemble  $A = \{a_1, a_2 \dots a_n\}$  dont les éléments sont appelés arêtes (dans le cas des graphes non orientés) ou arcs (dans le cas des graphes orientés).
- Le nombre d'arcs reliant chaque sommet détermine la nature du graphe : un  $p$ -graphe est un graphe dans lequel il n'existe jamais plus de  $p$  arcs de la forme  $(i, j)$  entre deux sommets quelconques [62].

**Graphes orientés et graphes non-orientés**

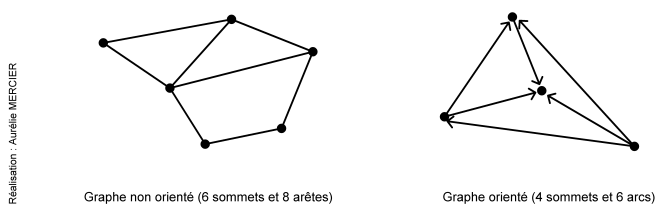


FIG. 8 – Exemples de graphes



## V.2 Intégration du niveau de congestion par le biais d'un modèle à quatre étapes

Dans cette thèse, l'objectif de la mise en place d'un modèle à quatre étapes n'est pas de faire de la prévision de demande de transport mais de modéliser le trafic automobile sur les différents tronçons du réseau routier afin de déterminer les vitesses réelles de circulation sur chacun des tronçons. Nous posons l'hypothèse que les vitesses automobiles sont identiques en 1993 et en 2005. Cette hypothèse peut sembler restrictive dans la mesure où en 12 ans la population a augmenté et l'offre de transport et les comportements de déplacement ont pu également évoluer. Toutefois, plusieurs raisons nous ont conduit à ce choix.

Les difficultés techniques constituent un premier écueil. L'étape de génération détermine les déplacements entrant et sortant de chaque zone à partir de coefficients issus des Enquêtes Ménages Déplacements. Nous disposons de deux de ces enquêtes réalisées en 1988 et 1997 mais sur deux périmètres différents. L'enquête de 1988 ne procure pas la même finesse d'information que celle de 1997 et nous préférons utiliser uniquement cette dernière enquête pour déterminer les coefficients. Le recensement de la population (RGP) intervient également pour déterminer le volume de déplacements : les coefficients précédemment calculés pondèrent les données socio-économiques issues du recensement. Il peut sembler plus pertinent de déterminer les déplacements réalisés en 1993 en se référant au recensement de 1990 plutôt qu'à celui de 1999. Un test montre que l'utilisation des données du RGP de 1990 abouti à un nombre de déplacements tous modes confondus de 3% inférieur à celui calculé avec le RGP 1999. Faut-il alors considérer des vitesses différentes pour 1993 et 1999 ?

Un autre élément de réponse expliquant notre choix peut être apporté en considérant le contexte de notre étude. Le SIG a pour objectif de permettre l'évaluation de la politique de transport tant d'un point de vue de l'évolution de l'offre de transports en commun *stricto sensu* que de la concurrence modale qui en résulte. S'il nous importe de connaître avec précision les termes de la concurrence en 2005 après la mise en place de la politique, il n'en va pas de même pour 1993. En outre, utiliser un seul schéma pour le calcul des vitesses en 1993 et 2005 basé sur les données EMD 97 et RGP 99 (c'est-à-dire les plus récentes diffusées à ce jour) revient à « aggraver » le niveau de congestion de 1993 et n'impacte qu'à la marge certains de nos résultats.

Au cours de cette sous-section, nous détaillons les différentes étapes du modèle. Nous estimons donc à partir des flux entre les zones EMD 1997, les flux entre zones IRIS (étapes de génération et de distribution) puis avec les étapes de choix modal et d'affectation nous envisageons la répartition du trafic sur les différents tronçons routiers et autoroutiers.

### V.2.1 La génération des déplacements

Le modèle est réalisé sur le périmètre de l'EMD de 1997 mais en tenant compte du découpage en zones IRIS (le découpage en zones IRIS permettant de reconstituer le périmètre de l'EMD 1997). Ainsi lorsque nous parlerons de zone, nous ferons référence aux zones IRIS. La génération des déplacements, première étape du modèle, produit les émissions et les attractions de chaque zone de l'aire d'étude. Elle calcule ainsi, pour chaque zone, le nombre de déplacements émis (c'est-à-dire trouvant son origine) et reçus (c'est-à-dire ayant pour destination) et ce, pour un ou plusieurs motifs de déplacements. L'étape de génération permet de constituer les marges de la matrice origine-destination qui sera produite par l'étape de distribution.

*Le principe de calcul de la génération : le cas du modèle linéaire*

Le principe de calcul consiste à déterminer les variables explicatives du nombre d'émissions et d'attractions de chaque zone, ainsi que les coefficients associés, pour une situation de référence puis d'extrapoler les résultats obtenus à la situation étudiée (McNally, [122]). Le choix de la situation de référence est guidé par les données disponibles tant en termes de déplacements émis et attirés que de variables économiques et démographiques associées à chaque zone. Les EMD présentent ces caractéristiques et sont ainsi les plus fréquemment utilisées comme situation de référence. Nous utilisons ainsi l'EMD réalisée en 1997 sur Strasbourg.

Les paramètres associés aux différentes variables sont estimés par une régression linéaire multiple. Le principe d'un tel modèle consiste à expliquer une variable  $y$  par plusieurs variables explicatives  $x_1, x_2 \dots x_n$  en supposant que ces dernières entretiennent une relation linéaire avec la variable à expliquer. Pour un motif donné, l'estimation des émissions depuis une zone  $i$  donnée s'écrit :

$$\hat{E}_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon$$

avec :

- $\beta_0$  la constante
- $\beta_k$  le coefficient associé à la variable explicative  $x_{ki}$
- $x_{ki}$  une variable explicative des émissions pour la zone  $i$ .
- $\epsilon$  un terme d'erreur aléatoire

L'estimation des paramètres s'effectue à partir de la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO) (Bourbonnais, [26]).

### *Le choix des motifs et des variables explicatives*

Les trafics émis et attirés pour chaque zone sont estimés séparément pour chacun des motifs considérés. Nous envisageons une segmentation en cinq motifs de déplacement : « Domicile vers Travail », « Domicile vers Autre Motif<sup>33</sup> », « Travail ou Autre Motif vers Autre Motif », « Travail ou Autre Motif vers Domicile » et « Travail ou Autre Motif vers Travail ». Ces cinq motifs permettent en effet d'intégrer l'ensemble des déplacements possibles.

Le choix des variables explicatives dépend de la significativité des valeurs obtenues et de la pertinence des résultats. Nous les explicitons en détail dans les paragraphes ci-dessous. Le type de variables intégrées diffère selon que l'on considère l'émission ou l'attraction des déplacements. Les variables retenues pour expliquer le nombre de déplacements émis par zone sont d'ordre démographique dans la mesure où elles s'attachent directement à la segmentation de la population (nombre de ménages, de lycéens, d'étudiants ou d'actifs). A l'inverse, l'attraction des déplacements s'explique davantage par les caractéristiques d'une zone, et notamment par ses caractéristiques (le nombre d'emplois ou le nombre d'établissements tertiaires, par exemple).

### *Présentation des résultats*

Les résultats des régressions linéaires pour les émissions et les attractions sont présentés dans le tableau 5. Au-delà du coefficient associé à la variable explicative, le tableau présente le coefficient de détermination  $R^2$  associé à la régression ainsi que la probabilité associée au test de Student. Ces deux dernières valeurs permettent de tester la robustesse des résultats obtenus.

---

<sup>33</sup>Par l'expression « Autre Motif » nous entendons un déplacement pour un motif autre que le travail ou le domicile.

### Résultats sur les émissions de déplacements

Le nombre de déplacements Domicile-Travail est estimé à partir du nombre d'actifs (incluant les actifs occupés et les chômeurs). Le taux de génération par actif occupé est de 0.55 déplacements. Cette variable présente un  $R^2$  de 0.40. Le test de Student conclut à la significativité du coefficient associé au nombre d'actifs enquêtés. Nous avons simulé parallèlement l'estimation des déplacements émis pour motif Domicile-Travail en fonction des actifs occupés. Le coefficient associé à cette variable est de 0,54. Il est significatif mais présente un  $R^2$  de 0,36, c'est-à-dire plus faible que pour l'ensemble des actifs, d'où notre choix.

Les déplacements émis depuis le domicile pour un motif autre que le travail ont comme variable explicative le nombre de ménages. Le taux de génération est de 2.4 déplacements par ménage. Le  $R^2$  est de 0.24. Le coefficient associé à la variable « nombre de ménages » est significatif, à l'inverse des coefficients associés au nombre d'actifs enquêtés, de lycéens également testés.

Le nombre de déplacements à destination du domicile à partir du motif « Travail ou Autre » est estimé à partir du nombre d'étudiants et de lycéens. Ces deux catégories générant respectivement 8.1 et 6.9 déplacements par jour et par personne. Les coefficients associés à ces variables sont significativement différents de zéro. Le  $R^2$  est de 0.62.

La variable explicative retenue pour expliquer les déplacements émis pour le motif « Travail-Autre motif » vers « Autre motif » est le nombre d'étudiants. Le taux de génération est de 5.19 déplacements par étudiant. Le  $R^2$  est de 0.64 et le coefficient associé à cette variable est significatif.

Le nombre de déplacements pour le motif « Travail ou Autre vers Travail » est estimé à partir du nombre d'étudiants. Le taux de génération est de 1.35 déplacement par étudiant. Le coefficient associé à cette variable est significativement différent de zéro. Le  $R^2$  associé est de 0.55.

### Résultats sur les attractions de déplacements

Nous avons choisi d'expliquer le nombre de déplacements attirés pour le motif « Domicile-Travail » par le nombre d'emplois (en 2003). La valeur du

coefficient associé à cette variable est de 0,63. Le coefficient de détermination associé est de 0,64 et le coefficient associé à la variable nombre d'emplois est significatif.

Les déplacements reçus pour le motif « Domicile-Autre » sont expliqués par le nombre d'établissements tertiaires. Le coefficient associé à cette variable est de 8.82 et le  $R^2$  est de 0,5.

Le coefficient d'attraction pour les déplacements à destination du domicile ayant une origine hors du domicile est de 3.04 par ménage. Ce coefficient est significatif et le coefficient de détermination est de 0.26.

C'est également le nombre d'établissements tertiaires qui est utilisé pour expliquer l'attraction des déplacements dont le motif à destination n'est pas le travail (et ce, quel que soit le motif à l'origine). Le taux d'attraction est de 9.69 par établissement tertiaire.

Les déplacements attirés pour le motif « Travail-Autre motif » vers « Travail » dépendent du nombre d'établissements tertiaires. Le coefficient associé à cette variable est de 1.728 et est significatif. Le  $R^2$  est de 0.62.

### *L'intégration des coefficients pour le calcul des émissions et attractions*

Pour chaque zone, la masse de déplacements émis doit être égale à la masse de déplacements reçus. Toutefois, lorsque le nombre d'émissions diffère du nombre d'attractions, nous choisissons de normaliser le total des déplacements au nombre d'émissions. En effet, les émissions sont calculées à partir de données socio-économiques caractérisant les ménages, données qui sont souvent plus fiables que les données d'activités zonales (Bonnell, [23]). Dans ce cas, le résultat de l'attraction est alors pondéré par un facteur identique pour chacune des zones : ce facteur correspond au ratio entre les émissions totales et les attractions totales pour chaque zone. Le total des déplacements étant normalisé au total d'émissions, la valeur du coefficient associé aux variables explicatives des masses attractives n'influe pas directement sur le nombre de déplacements reçus, à partir du moment où cette valeur est non nulle.

## **V.2.2 La distribution des déplacements**

L'étape de distribution des déplacements vise à calculer le volume de déplacements tous modes entre chaque couple de zones de l'aire d'étude. Elle

	Variables explicatives	Coefficient	Pr(>  t )	R <sup>2</sup>
<b>Emissions</b>				
Motifs (Origine-Destination)				
Domicile-Travail	Nombre d'actifs	0.55	8.42e-06***	0.40
Domicile-Autre	Nombre de ménages	2.40	0.001**	0.24
Travail/Autre - Domicile	Nombre d'étudiants	8.104	2.52e-09***	0.62
	Lycéens	6.993	0.0294*	0.62
Travail/Autre - Autre	Nombre d'étudiants	5.19	3.62e-10***	0.64
	Constante	24.45	0.009***	0.64
Travail/Autre - Travail	Etudiants	1.35	2.51e-08***	0.55
	Constante	14.8	4.53e-06***	0.55
<b>Attractions</b>				
Motifs (Origine-Destination)				
Domicile-Travail	Nombre d'emplois	0.63	3.24e-10***	0.64
Domicile-Autre	Nombre d'ets. tertiaires	8.82	1.71e-07***	0.51
Travail/Autre - Domicile	Nombre de ménages	3.04	0.001***	0.26
Travail/Autre - Autre	Nombre d'ets. tertiaires	9.69	4.96e-09***	0.59
Travail/Autre - Travail	Nombre d'ets. tertiaires	1.728	8.32e-10***	0.62

(Significativité : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*')

TAB. 5 – Résultats des régressions linéaires

utilise les données produites par l'étape de génération, c'est-à-dire les marges de la matrice Origine-Destination (O-D) associées à une matrice d'impédance pour compléter l'intérieur de la matrice Origine-Destination. Tout comme la génération, la distribution des déplacements est calculée suivant une segmentation des déplacements par motifs identique à celle utilisée pour l'étape de génération.

*Le choix d'un modèle de distribution gravitaire*

La littérature recense une variété de familles de modèles de distribution tels les modèles à facteurs de croissance, les modèles d'opportunités ou encore les modèles gravitaires [139]. Ces derniers sont fréquemment utilisés comme modèles de distribution, notamment pour des applications en milieu urbain, en raison de leur justification économique [23]. Les modèles gravitaires ont pour particularité de répartir les flux entre zones origine et destination en fonction des générateurs de déplacement et des facteurs d'attractivité et ce, en tenant compte de la distance (physique ou temporelle) qui sépare les différentes zones. Comme nous l'avons détaillé au cours du premier chapitre, le modèle gravitaire apparaît en effet cohérent avec la théorie de la maximisation de l'utilité individuelle. Dans sa forme générique, le modèle gravitaire s'écrit :

$$T_{ij} = a * E_i * A_j * f(U)$$

avec :

- $a$  un coefficient de proportionnalité
- $E_i$  l'émission de la zone  $i$
- $A_j$  l'attraction de la zone  $j$
- $f(U)$  une fonction d'impédance

La fonction d'impédance peut prendre plusieurs formes dont les plus fréquentes sont la fonction puissance (modèle de Kirchhoff,  $f(U) = U^c$ ), la fonction exponentielle (modèle logit,  $f(U) = e^{cU}$ ), la fonction BoxCox ( $f(U) = e^{[c(U^b-1)/b]}$ ) et la fonction combinée exponentielle et puissance ( $f(U) = aU^b e^{cU}$ ). Le modèle logit calcule la répartition des déplacements en fonction des différences entre les temps généralisés (par exemple, il n'y a pas de différence entre des liaisons avec des temps généralisés de 5 et de 10 minutes et d'autres liaisons avec des temps généralisés de 95 et de 100 minutes). En effet, on a  $U_i^a = e^{-\beta * TG_i^a}$  alors  $P_i^a = \frac{e^{-\beta * TG_i^a}}{\sum_j e^{-\beta * TG_j^a}}$ . A l'inverse, un modèle de Kirchhoff calcule la répartition à partir des proportions des différents temps généralisés

(par exemple, il n'y a pas de différence entre des liaisons avec des temps généralisés de 5 et de 10 minutes et d'autres liaisons avec des temps généralisés de 50 et de 100 minutes). En effet, on a  $U_i^a = TG_i^{a-\beta}$  alors  $P_i^a = \frac{TG_i^{a-\beta}}{\sum_j TG_j^{a-\beta}}$ .

Le choix de la fonction d'impédance dépend des données empiriques, l'objectif étant que la fonction « représente » le mieux possible à la réalité. Sur la base de ce critère, nous avons testé les différentes fonctions possibles. Pour ce faire, nous avons comparé la répartition des déplacements selon le temps de transport en voiture pour chacune des fonctions proposées avec la répartition réelle, connue grâce à l'EMD. La figure 9 présente le résultat des simulations. La fonction logit et la fonction combinée sont celles qui représentent le mieux la réalité. Dans notre exemple, les modèles BoxCox et Kirchhoff sous-estiment le nombre de déplacements de courte durée (inférieurs à 10 minutes) et sur-estiment les déplacements supérieurs au quart d'heure. Les modèles logit et combiné présentent une fonction de distribution des déplacements de même forme que la distribution issue de l'EMD. Le choix du modèle combiné provient du fait que des deux modèles, il est celui qui sous-estime le moins les déplacements compris entre 5 et 10 minutes. De plus le modèle combiné peut être ramené à un modèle logit lorsque  $b=0$ .



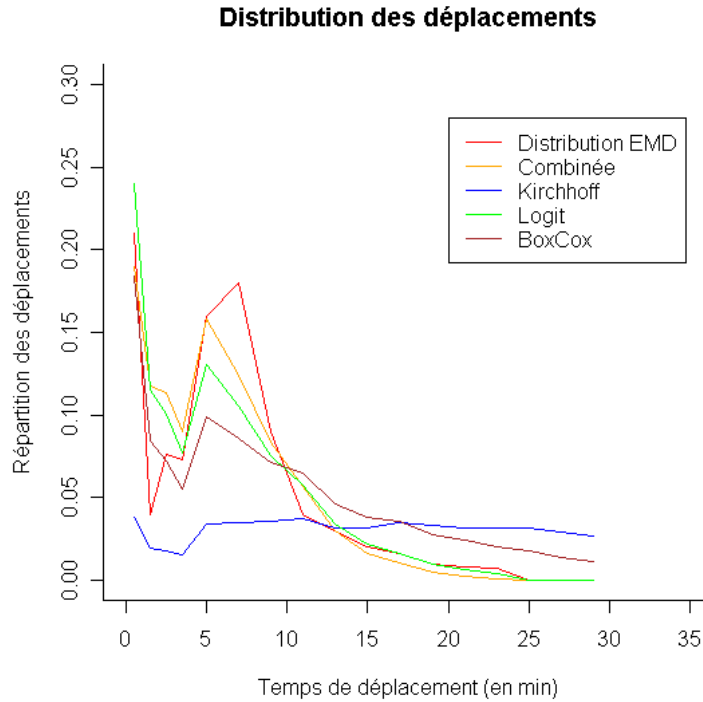


FIG. 9 – Impact des fonctions d’impédance sur la distribution des déplacements

*La mise en oeuvre de l’étape de distribution et ses limites*

La distribution gravitaire des déplacements est calculée à partir des résultats issus de la génération et d’une fonction d’impédance. Comme nous venons de l’expliquer, la fonction d’impédance considérée est une fonction combinée. Reste toutefois à préciser ce que nous entendons exactement par le terme d’impédance ou de coût de déplacement.

Nous considérons dans l’étape de distribution, de même que pour le calage du modèle, que le coût peut être perçu comme le temps de déplacement « réel » en voiture particulière. La littérature fait état du problème du choix du coût généralisé dans le calcul de la distribution et envisage deux solutions principales pour le résoudre : intégrer le coût du mode présentant le coût généralisé le plus faible ou bien prendre en compte la moyenne des

coûts généralisés des différents modes pondérés par leur poids sur chacune des relations origine-destination. A partir de ce constat, nous justifions notre choix. Intégrer le coût généralisé du mode le plus économe en temps revient dans notre cas à prendre en compte celui de la voiture particulière. Notre modèle à quatre étapes étant réalisé sur la base du périmètre de l'EMD de 97 (voir annexe 1), de nombreuses zones ne sont pas desservies par un réseau de transports en commun ou en tous cas ne le sont que partiellement. De ce fait, la voiture particulière constitue le seul mode possible pour relier de nombreuses zones entre elles. En centre-ville, en considérant un réseau à vide et aucune contrainte de stationnement, la voiture particulière apparaît compétitive par rapport aux transports en commun. En effet, la distribution étant calculée avant la répartition modale et, par conséquent, avant l'affectation sur les tronçons, il n'est pas possible de définir, à ce stade, un temps de parcours automobile tenant compte des conditions réelles de circulation. A l'inverse, le calcul des temps de transport en bus/tramway étant calculé de manière exogène au modèle, il intègre les temps d'attente (au départ et en correspondances) et la congestion éventuelle. Pour ces raisons, des deux modes, la voiture particulière « affiche » un coût généralisé plus faible que les transports en commun, quelle que soit la relation Origine-Destination considérée. Nous avons également envisagé d'intégrer comme coût généralisé la moyenne pondérée des différents modes en fonction de leur « part de marché » sur chaque relation Origine-Destination. Là encore, le principal obstacle à la mise en place de cette alternative réside dans la non-connaissance à ce stade de la modélisation de la répartition des déplacements. Le problème de l'intégration du coût de déplacement dans le calcul de la distribution ne trouve pas de solution immédiate. Quelle que soit l'option choisie, il semble judicieux de calculer la distribution au cours d'une seconde itération, après avoir fait tourner une fois le modèle et en avoir déduit les différentes parts modales. La spécificité des objectifs qui sous-tendent la réalisation de notre modèle à quatre étapes - nous ne sommes pas ici dans une optique de prévisions mais dans un calcul de vitesse moyenne par type de tronçons- nous conduit à ne pas aller plus avant dans le détail de la construction de l'étape de distribution.

### *Le calage du modèle*

La phase de calage du modèle consiste à déterminer les paramètres de la fonction d'impédance de sorte que le modèle soit le plus « proche » possible

Motif / Paramètres	a	b	c	Qualité
Domicile - Travail	0.32	1.69	-0.43	0.8
Domicile - Autre	0.26	1.84	-0.44	0.8
Travail/Autre - Autre	0.30	1.75	-0.44	0.78
Travail/Autre - Domicile	0.28	1.82	-0.44	0.73
Travail/Autre - Travail	0.31	1.71	-0.43	0.78

TAB. 6 – Résultats issus du calage

de la réalité. L'objectif est ainsi d'adapter la fonction d'impédance à une distribution des déplacements prédéfinie, en l'occurrence celle de l'EMD correspondante. La phase de calage requiert le volume des émissions et attractions, par motif, pour chaque zone IRIS ainsi que la distribution des déplacements EMD en fonction du coût. Par le terme de coût, nous entendons le temps de déplacement en voiture particulière sur un réseau non chargé. Les paramètres sont calculés pour le modèle gravitaire selon l'émission contrainte simple. Les résultats issus du calage pour une fonction combinée  $f(U) = aU^b e^{cU}$  sont présentés dans le tableau 6. La colonne qualité présente un indice de qualité produit directement par DAVISUM. Cet indice est compris entre 0 et 1, sachant que 1 traduit une très bonne qualité.

Deux principaux enseignements peuvent être tirés de ce tableau. D'une part, les paramètres présentent des valeurs proches quels que soient les motifs. D'autre part, la qualité du calage est bonne et homogène, aux alentours de 0.80, excepté pour pour le motif « Travail ou Autre vers Domicile » qui présente un indice de qualité de 0.73.

### V.2.3 La répartition modale

L'étape de choix du mode de déplacement prend place après la distribution des déplacements. La répartition vise à « faire éclater la matrice O-D présentant les déplacements entre chaque couple de zones en autant de matrices origine-destination qu'il y a de modes de transport pris en compte » [23]. La détermination du choix modal se heurte principalement aux limites liées au choix des variables explicatives et du modèle utilisé.

#### *Le choix du modèle et des variables explicatives*

Trois principales familles de modèles de répartition modale sont recensées dans la littérature [139] : les modèles normatifs, les modèles logit et les mo-

dèles combinant les étapes de distribution et de choix modal. Les premiers n'étant quasiment plus utilisés, nous ne les détaillerons pas davantage. Les modèles combinant les étapes de distribution et de choix modal reposent sur l'analogie avec les modèles gravitaires pour déterminer les trafics et la répartition modale. Bien que de tels modèles aient été largement utilisés notamment en milieu urbain, ils sont aujourd'hui remplacés par des modèles désagrégés. A ce jour, à un niveau désagrégé, les modèles logit sont les plus fréquemment utilisés car reproduisant le plus fidèlement la répartition modale. Au-delà de leur cohérence avec la théorie micro-économique, ces modèles présentent une courbe de répartition en « S » qui est très proche de celle de la répartition résultant des données empiriques.

#### Présentation du modèle logit

Le modèle logit est un modèle à choix discret qui associe à chaque alternative  $i = 1, \dots, n$  une utilité aléatoire  $U_i$  reflétant le niveau de satisfaction qu'elle procure à un individu. L'individu cherche à maximiser son utilité décrite de la façon suivante :

$$U_i = V_i + \epsilon_i$$

avec :

- $U_i$  l'utilité aléatoire
- $V_i$  l'utilité déterministe
- $\epsilon_i$  un terme aléatoire non observable

En raison du terme  $\epsilon_i$  les modèles à choix discret sont probabilistes. La probabilité  $P_i$  qu'un individu opte pour l'alternative  $i$ , plutôt que  $j$  s'écrit :

$$P_i = Prob(U_i > U_j; \forall j = 1, \dots, n; j \neq i)$$

Le modèle logit repose sur trois hypothèses :

- Les parties aléatoires de l'utilité pour les différentes alternatives sont indépendantes entre elles et identiquement distribuées. Autrement dit, il n'y a pas de facteur non observé qui soit commun à deux alternatives (hypothèse d'indépendance). Par ailleurs, les termes d'erreurs sont distribués identiquement pour chacune des alternatives (hypothèse de distribution identique). Sous cette hypothèse et si les termes aléatoires suivent une loi de Gumbel de paramètres  $(0, \mu)$  alors on peut écrire :

$$P_i = \frac{e^{\mu(V_i)}}{\sum_j e^{\mu(V_j)}}$$

- Il n'y a pas de variation de perception d'un attribut de la partie déterministe de l'utilité due à des caractéristiques non observées de l'individu. La perception des différentes variables de l'utilité est identique pour tous les individus.
- La structure de la matrice de variance-covariance du terme d'erreur est identique entre les alternatives. La variation due aux facteurs non observés est identique entre les individus.

Le problème de la définition des variables explicatives

Trois grands types de facteurs influencent le choix du mode :

- Les caractéristiques quantitatives et qualitatives de l'offre de transport comme le temps ressenti de déplacement, le coût monétaire « réel », l'offre et le coût de stationnement pour les variables quantitatives, ou bien comme le confort, la ponctualité, la sécurité pour les variables qualitatives
- Les caractéristiques du déplacement comme l'origine et la destination, le motif ou encore l'heure de la journée
- Les caractéristiques de l'individu et notamment sa possibilité à se déplacer en voiture (possession du permis de conduire et disposition d'un véhicule) ou son lieu de résidence, son revenu ...

*Présentation de la répartition modale selon les motifs*

La répartition modale a été estimée grâce à un modèle logit à partir d'une approche agrégée par zone et non à l'échelle individuelle. Ortúzar et Willumsen [139] rappellent ainsi que les modèles de choix modal peuvent être des modèles agrégés si l'on raisonne à l'échelle d'une zone ou bien désagrégés si l'on se place au niveau de l'individu. Le choix modal s'effectue entre deux alternatives : la voiture particulière et les transports en commun. La probabilité d'utiliser la voiture est formulée de la manière suivante.

Soit avec deux alternatives 1 et 2 :

$$P_{VP} = \frac{e^{\mu(V_1)}}{e^{\mu(V_1)} + e^{\mu(V_2)}} = \frac{1}{1 - e^{(V_{TGT C} - V_{TGV P})}}$$

avec :

- $TGTC - TGVP$  la différence de coût généralisé entre les deux modes
- $P_{VP}$ , la probabilité d'utiliser la voiture particulière

L'utilité peut dépendre de nombreuses variables. En raison du caractère agrégé de notre approche et de l'absence de certaines variables individuelles, comme le revenu, nous estimons le choix modal à travers le temps de déplacement ressenti.

Le tableau 7 présente la part des déplacements réalisés en voiture particulière pour chacun des motifs. La variable explicative étant le temps de déplacement pour chacun des motifs, il est logique de retrouver des répartitions modales similaires. En outre, comme nous nous l'avons précisé, notre modèle est réalisé sur une aire d'étude dont une partie importante du territoire n'est pas (ou mal) desservie par les transports en commun, ce qui favorise l'usage de l'automobile.

Motif	Part des déplacements réalisés en VP
Domicile-Travail	91%
Domicile -Autre	88%
Travail/Autre - Autre	92%
Travail/Autre - Domicile	91%
Travail/Autre - Travail	93%

TAB. 7 – Résultats issus de la répartition modale

#### V.2.4 L'affectation sur les différents tronçons

L'affectation constitue la quatrième étape de la modélisation. Elle vise à répartir les trafics sur les différents tronçons à partir de la répartition Origine-Destination des déplacements selon les modes. Pour F. Leurent [116], l'affectation, en simulant le choix d'itinéraire opéré par un conducteur automobile sur un réseau routier, correspond d'un point de vue économique à la rencontre entre la demande (les automobilistes) et l'offre (le réseau). L'affectation permet ainsi de simuler les coûts entre les différentes Origines-Destination et d'envisager le niveau de congestion sur chacun des tronçons.

*Les différents modèles d'affectation*

Une grande variété de modèles d'affectation cohabite. En dépit de leurs particularités, ces modèles reposent tous sur l'hypothèse de maximisation de l'utilité individuelle. Un individu choisit l'itinéraire qui lui procure la plus grande satisfaction. Ortúzar et Willumsen [139] classent ces différents modèles au travers d'un double questionnement :

1. Le modèle intègre-t-il les contraintes de capacité de chaque tronçon ? La prise en compte de la capacité de chaque tronçon permet de déterminer le coût lié à l'utilisation de ce tronçon en fonction de sa charge et de sa vitesse « à vide ». Intégrer les contraintes de capacité se révèle intéressant en milieu urbain où la congestion de certains tronçons amène les usagers à modifier leur itinéraire.
2. Comment l'individu perçoit-il le coût associé à chaque tronçon ? Autrement dit, le choix de l'itinéraire se fait-il de manière déterministe ou probabiliste ? Un modèle stochastique repose sur deux hypothèses. D'une part, les usagers, en raison d'un manque d'information, n'ont pas une réelle connaissance du coût associé à chacun des arcs. Le choix d'itinéraire se fait alors aléatoirement. D'autre part, le modélisateur ne connaît pas tous les déterminants qui influencent l'utilisateur sur son choix d'itinéraire. Un modèle déterministe considère à l'inverse que les individus connaissent l'ensemble des coûts associés aux différents itinéraires et qu'ils valorisent ces coûts de façon identique.

A partir de ce double questionnement découle la classification présentée dans le tableau 8 (d'après Ortúzar et Willumsen [139]). L'ensemble des modèles présentés dans le tableau 8 sont des modèles statiques. Il existe parallèlement des modèles dynamiques qui envisagent l'affectation en fonction des différentes périodes de la journée (De Palma *et al.* [52]).

	Modèle déterministe	Modèle stochastique
Pas de contrainte de capacité	Méthode du « tout ou rien »	Modèle stochastique pur (Dial, Burrell)
Contrainte de capacité	Équilibre de Wardrop	Méthode d'équilibre stochastique

TAB. 8 – Une classification des modèles d'affectation

### *Une procédure d'affectation à l'équilibre de Wardrop*

Au regard de la classification précédente et de l'objectif de notre modèle qui est avant tout d'envisager la congestion sur chacun des tronçons afin d'en déduire la vitesse de circulation, le choix d'un modèle avec contrainte de capacité nous paraît logique. Se pose alors la question de l'utilisation d'une méthode d'équilibre de Wardrop ou d'une méthode d'équilibre avec utilité stochastique. Les modèles d'équilibre intègrent la congestion à travers une définition du coût du lien en fonction de sa charge. Comme nous le verrons ci-dessous, l'équilibre de Wardrop est un équilibre entre les différentes options : il y a égalité des coûts entre les différentes options utilisées par les usagers et, de ce fait, équilibre entre les différents usagers qui les empruntent (Wardrop, [170]). L'équilibre stochastique correspond à l'adéquation entre le coût prévu par les usagers et le coût réel d'un itinéraire : il y a équilibre pour l'utilisateur entre son choix et le coût de l'option. Contrairement à l'équilibre stochastique, l'équilibre de Wardrop se focalise davantage du côté de l'offre (du réseau) et de son niveau de service (congestion) que du côté de la demande (l'utilisateur pris individuellement). Là encore, notre souci n'étant pas de nous focaliser sur l'utilisateur mais bien sur la congestion de l'infrastructure, l'équilibre de Wardrop nous apparaît comme le plus approprié des deux.

Revenons maintenant plus en détail sur l'équilibre de Wardrop (1952). Bonnel [23] explique l'équilibre de Wardrop de la façon suivante : « une affectation est à l'équilibre lorsque dans un réseau congestionné, toutes les routes utilisées sur une même Origine-Destination ont un coût équivalent et minimum tandis que toutes les autres routes possibles non utilisées ont un coût supérieur. Si cette condition n'est pas remplie, il existe au moins un conducteur qui a intérêt à changer d'itinéraire car il pourra trouver un itinéraire plus court ». Cet équilibre repose sur plusieurs hypothèses :

- Chaque usager dispose d'une information complète sur l'état du réseau et connaît l'ensemble des chemins possibles.
- Les usagers ont une perception parfaite du coût de chacun des tronçons.
- Les usagers sont tous identiques : ils ont tous la même perception des coûts.
- Les usagers sont rationnels : ils empruntent l'itinéraire qui minimise leur coût.
- Les usagers sont autonomes et choisissent leur itinéraire indépendamment des autres usagers.



- Le coût sur un lien dépend de la charge sur ce lien mais pas de la charge sur les autres liens.

### *La procédure d'affectation sous DAVISUM*

La recherche de l'équilibre de Wardrop sous DAVISUM se fait suivant deux étapes. Une première étape appelée « étape d'itération interne » cherche à équilibrer les itinéraires par couple sur chaque relation origine-destination, par transfert des véhicules. Chaque transfert de véhicule s'accompagne du nouveau calcul du coût généralisé sur les tronçons considérés. Dès lors, dans la seconde étape appelée « étape d'itération externe » le modèle vérifie si, du fait de l'actualisation des temps généralisés, il est possible de trouver de nouveaux itinéraires avec un temps généralisé plus faible. Si tel est le cas pour une relation origine-destination au moins, un nouvel équilibrage du réseau est effectué.

### **V.2.5 L'exploitation des résultats du modèle : de l'affectation à la détermination des vitesses**

L'exploitation des résultats du modèle constitue une sorte d'étape de rétroaction dans la mesure où nous cherchons à déterminer les vitesses réelles par tronçon en fonction des trafics affectés sur chacun d'eux. Au cours des quatre étapes que nous venons de décrire, les temps de déplacement entre zones et l'affectation du trafic sont calculés en fonction d'une capacité et d'une vitesse « à vide » sur chacun des tronçons. Les vitesses ainsi utilisées ne tiennent pas compte du niveau de trafic ni même de la configuration de la voirie (en milieu urbain notamment). Dès lors, pour intégrer des vitesses qui reflètent les conditions réelles de circulation tant en heure de pointe qu'en heure creuse nous simulons de nouvelles vitesses à partir du niveau de trafic affecté sur chacun des tronçons. Avant de revenir plus en détail sur le calcul des vitesses, il convient en premier lieu d'analyser les résultats issus de l'étape d'affectation.

### *Le redressement des résultats issus de l'affectation*

Comme nous l'avons précisé précédemment, la modélisation du niveau de trafic a été construite à partir des données issues de l'Enquête Ménages Déplacements réalisée en 1997 dans le bassin d'emploi de Strasbourg et l'arrondissement de Molsheim. Ces enquêtes décrivent les déplacements des individus enquêtés de 5 ans et plus, au cours d'une journée de semaine. Elles

s'appuient pour ce faire sur une nomenclature précise des modes, des motifs de déplacements. Toutefois, par rapport à notre objectif de modélisation du niveau de trafic, ces enquêtes présentent certaines limites :

- Elles ne détaillent pas précisément les zones origine et destination concernant les déplacements réalisés en partie ou en totalité à l'extérieur du périmètre d'étude.
- Le trafic de transit à la zone d'étude n'est pas intégré.
- Les déplacements professionnels, réalisés ou non au sein de la zone d'étude, ne sont pas comptabilisés.
- Le périmètre d'étude n'intègre pas les territoires allemands frontaliers.

Tenant compte de ces limites ainsi que des hypothèses prises pour la modélisation, nous comparons les trafics obtenus avec deux sources différentes. Nous disposons, en effet, d'une part, des données cartographiques de comptages du trafic routier dans le Bas-Rhin (données annuelles de 2003 à 2006), provenant de la DDE du Bas-Rhin. Ces données répertorient le trafic par tronçon pour les autoroutes, routes nationales et, pour les années 2003 à 2005, routes départementales (grands itinéraires, voies de desserte importante uniquement). Par rapport à nos besoins, ces données ne nous apportent qu'une aide partielle qui porte essentiellement au niveau des trafic autoroutiers. La comparaison entre les trafics obtenus par notre modèle pour les tronçons des autoroutes A 35 et A 351 et les comptages de la DDE montre un écart important. Le trafic estimé par le modèle correspond à environ 20% du trafic « compté » par la DDE. Cet écart s'explique principalement par le volume de poids lourds circulant sur autoroute : la DRE Alsace estime qu'entre 10% et 26%<sup>34</sup> des véhicules circulant sur autoroute seraient des poids lourds. Aux poids lourds vient s'ajouter le trafic de transit ou de semi-transit (seule l'origine ou la destination se trouve dans le périmètre d'étude) et notamment le trafic en provenance ou à destination de l'Allemagne ainsi que les déplacements professionnels.

Nous disposons d'autre part de peu de données de comptage du trafic sur le réseau routier urbain : seul le Plan de Déplacements Urbains de la CUS daté de 2000 présente des données agrégées sur le niveau de trafic pour les principales artères aux entrées de la ville (sources CUS-SIRAC). La somme du trafic pour les principales voies d'accès au centre-ville est estimée à plus de 200 000 véhicules/jour sans faire de distinction entre poids lourds et véhicules

---

<sup>34</sup>Suivant les tronçons

Tronçon/Secteur	Trafic modélisé non redressé (en v/j)	Trafic réel
Place de Bordeaux	11836	15500
Place de Haguenau	4800	20000
Entrée Rue de Wasselonne	2500	11400
A 351	14000	53000
A 35 (Sud)	35000	155600
Jonction A340 - A4	34500	62100
Contournement Sud	15200	28700

TAB. 9 – Comparaison des trafics modélisés et des trafics réels

légers. D’après les résultats fournis par notre modèle, un peu moins de 100 000 véhicules empruntent quotidiennement ces mêmes artères. L’écart entre trafic réel et trafic observé en milieu urbain est moindre que sur les tronçons autoroutiers (cf. tableau 9). L’explication réside principalement dans plus faible part de trafic de transit (par rapport à la zone d’étude) et de poids lourds.

L’écart entre les résultats fournis par le modèle et les données de comptages DDE ou CUS nous amène à redresser le volume de trafic sur chacun des tronçons. Nous opérons un redressement variant selon le type de tronçon. Un coefficient de 3 est appliqué au trafic modélisé sur les tronçons autoroutiers et sur les grands axes. Un coefficient de 2,53 correspondant à l’écart entre nos estimations du nombre de véhicules accédant au centre-ville et les estimations de la CUS est appliqué au trafic modélisé sur les autres tronçons. Le coefficient de 3 appliqué sur les tronçons autoroutiers au regard des écart entre nos résultats et les comptages de la DDE reste sans doute sous estimé et peut entraîner une sur-évaluation des vitesses. Ces dernières sont en effet déterminée à partir d’une courbe débit-vitesse tenant compte du trafic, de la vitesse et de la capacité à vide.

#### *Détermination des vitesses*

Ne disposant pas des trafics entre les périodes de pointe et les périodes creuses, la vitesse appliquée est unique quel que soit le moment de la journée. N’ayant pas le réseau routier et autoroutier version 1993, nous posons l’hypothèse que ce réseau est identique et que le niveau de trafic est le même. Cette hypothèse a ses limites dans la mesure où la mobilité évolue au cours

du temps. Le niveau de vitesse de chaque tronçon est déterminé au moyen d'une courbe débit-vitesse. Les courbes débit-vitesse sont construites sur le principe que « la vitesse d'un véhicule sur un tronçon dépend du trafic sur ce même tronçon ou plus exactement du rapport entre le trafic sur ce tronçon et sa capacité. A mesure que le trafic s'accroît, la vitesse diminue, faiblement dans un premier temps puis de plus en plus rapidement à mesure que l'on s'approche de la capacité maximale du tronçon »[23]. La littérature détaille une variété de relations entre le débit, la densité, la vitesse, le temps au travers de diverses spécifications de courbes débit-vitesse. Parmi elles, nombreuses sont les courbes qui nécessitent des paramètres de calage (Overgaard 1967, The Bureau of Public Roads, 1964 reprises dans [139]). Or le calage des courbes suppose de disposer au préalable de données de trafic suffisamment fines. Dans notre cas, les seules données disponibles par tronçon sont celles de la DDE qui se limitent au réseau autoroutier et routier structurant. Dès lors nous choisissons d'utiliser la spécification de Smocks, proposée en 1962 pour une étude sur Détroit :

$$t = t_0 \exp^{V/Q_s}$$

avec :

- $t$  le temps de déplacement
- $t_0$  le temps de déplacement dans un contexte de circulation fluide
- $V$  le flux
- $Q_s$  la capacité du lien

Nous aurions également pu opter pour la fonction proposée par Raux *et al.* [146] en 1997 dans le cadre du « Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements ». Elle est illustrée par la figure 10.

Lorsque le ratio charge/capacité est inférieur à 0.8, le ratio vitesse/vitesse à vide est inférieur dans le cadre de la spécification de Smocks qu'avec le modèle stratégique (cf. annexe 3). Autrement dit, lorsque la charge de trafic est plutôt faible, les vitesses sont plus fortement amputées avec la spécification de Smocks qu'avec le modèle stratégique. A l'inverse, lorsque le ratio est supérieur à 0.8, les vitesses sont plus fortement amputées dans le cadre du modèle stratégique.

\*  
\* \*

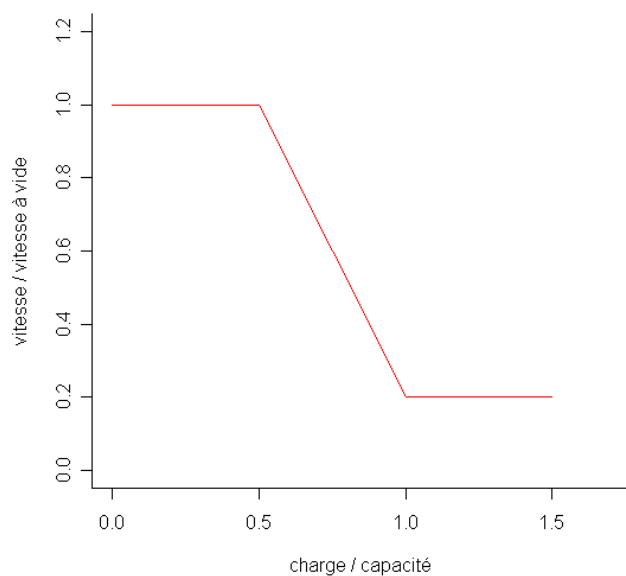


FIG. 10 – Courbe débit-vitesse utilisée dans le modèle stratégique - Raux *et al.* 1997

Cette section a été l'occasion d'aborder les questions méthodologiques relatives à la modélisation du réseau routier. Si l'acquisition des caractéristiques techniques du réseau (localisation et types de tronçons) par le biais d'une numérisation d'un plan papier reste classique, l'innovation réside dans l'intégration des vitesses. Pour chacun des tronçons du réseau, une vitesse propre a été déterminée à partir d'estimations de trafics. Ainsi, le principe des modèles à quatre étapes, traditionnellement utilisés pour prévoir la demande de transport, a été appliqué pour déterminer le niveau congestion sur chaque tronçon et de fait sur chaque itinéraire. Notre objectif est ainsi de s'approcher le plus possible de la réalité, tout en gardant à l'esprit que les données sources utilisées ne nous permettent pas de considérer l'intégralité des trafics (exemple : trafics de transit ou déplacements professionnels) et que des redressements ont dû être appliqués. Malgré ces limites auxquelles il faut associer les hypothèses restrictives inhérentes aux différentes étapes du modèle, les résultats permettent de différencier clairement les tronçons congestionnés des autres et ce, selon les périodes de la journée. L'intégration des vitesses automobiles « réelles » est déterminante dans l'optique d'une comparaison des temps de déplacements automobiles de ceux réalisés en transports

en commun.

## VI Modélisation des caractéristiques de l'offre de transports en commun

La modélisation de l'offre de transport en commun est complexe dans la mesure où elle nécessite un volume important d'informations difficiles à obtenir lorsque l'on travaille à une échelle temporelle rétrospective de plus de 10 ans. Ainsi au-delà de la structure du réseau (illustrée figure 12), les vitesses et les fréquences associées à chaque ligne sont intégrées dans le SIG et ce, pour différentes périodes de la journée.

### VI.1 L'intégration des vitesses et des fréquences

La vitesse constitue la donnée principale dans le calcul des temps de parcours et, de ce fait au travers du coût généralisé, de l'accessibilité. Contrairement au cas des voitures particulières, les vitesses en transports en commun (TC) ne sont pas directement obtenues à partir du modèle à quatre étapes mais sont intégrées au SIG de manière exogène. Ce choix s'explique par la grande variabilité des vitesses selon les caractéristiques techniques des véhicules et des lignes (le tramway vs bus et site propre vs site non protégé) ainsi que des itinéraires empruntés (parcours intégralement réalisé en centre-ville ou bien parcours réalisé entre quartiers centraux et quartiers périphériques, nombre d'arrêts ou plus moins important ...). Dès lors, au cours de notre travail, nous calculons deux séries de vitesses et fréquences correspondant chacune à un réseau (réseau 2005 ou réseau 1993) pour la période de pointe. Après avoir expliqué ce que nous entendons par « heure de pointe », nous détaillerons la méthode de calcul des vitesses et des fréquences, différente pour chacun des deux réseaux.

#### VI.1.1 Le choix de l'heure de pointe

Nous avons choisi de travailler en période d'heure de pointe du matin (7h - 9h), correspondant à celle où la plupart des actifs se rendent sur leur lieu de travail. Cette tranche horaire nous a paru la plus cohérente avec la définition donnée à l'heure de pointe. L'heure de pointe correspond à la période où la demande de transport, et de fait la congestion, est la plus importante [113].

Ne disposant pas de données sur le trafic voyageur en transports en commun selon les heures de la journée, nous posons l'hypothèse que la période de pointe se caractérise par des fréquences supérieures à la fréquence moyenne au cours de la journée, autrement dit des départs rapprochés des véhicules, et des temps de parcours supérieurs au temps de parcours moyen sur cette même journée. Certes, le choix de la période 7h-9h comme représentative de l'heure de pointe peut être sujet à débat. Notons toutefois que les caractéristiques de l'offre (fréquences et vitesses) sont sensiblement identiques au cours des périodes 17-19h et 7h-9h.

### VI.1.2 Reconstitution de l'offre de transport en commun en 2005

La détermination des vitesses et des fréquences est réalisée à partir des fiches horaires éditées par la Compagnie des Transports Strasbourgeois (CTS).

#### *Principe général de détermination des vitesses*

Une vitesse propre à chaque ligne de bus est définie à partir de la formule standard :  $v = d/t$  où  $v$  représente la vitesse en km/h,  $d$  la distance en kilomètres et  $t$  le temps en heures. Concernant les lignes de tramway, les vitesses nous sont directement fournies par la CUS [4]. Cette formule, dans le cas du tramway, n'a été utilisée que pour opérer une vérification.

Chaque ligne de bus étant numérisée séparément, leur longueur nous est fournie directement par le SIG. Les lignes les plus courtes parcourent moins de 5 km tandis que les plus longues, traversant plusieurs communes, peuvent dépasser les 20 km. Notons que la vitesse étant un attribut de la ligne, elle est supposée identique sur tous les tronçons de la ligne (même si, dans la réalité, les tronçons d'une même ligne peuvent être parcourus à des vitesses différentes, en raison notamment de la densité des quartiers traversés et de la typologie des voies). C'est donc une vitesse moyenne par ligne qui est calculée.

Les temps de parcours intégrés sont directement issus des fiches horaires. Il convient dès lors d'apporter certaines précisions quant à la signification réelle de ces temps de parcours :

- Ce sont des temps « théoriques » qui n'ont pas fait l'objet d'une vérification sur le terrain. Par ailleurs, nous ne possédons pas de statistiques sur la ponctualité des bus par rapport aux fiches horaires.

- Les temps de parcours entre les deux terminus d'une ligne incluent les temps d'arrêt aux stations.
- Nous ne tenons pas compte du fait que certains arrêts d'une ligne peuvent ne pas être desservis à certaines heures.
- Au cours de la période 7h - 9h, les temps de parcours d'une même ligne sont identiques. Lorsqu'ils ne le sont pas, nous calculons un temps moyen sur la période.

### *Les vitesses obtenues*

Les vitesses ainsi calculées sont répertoriées dans l'annexe 5. L'indicateur « vitesse commerciale », fourni par les exploitants de réseaux, est souvent utilisé pour mesurer la performance des lignes de bus. Nous le mobilisons ici afin de vérifier la fiabilité de nos résultats. La vitesse commerciale est par définition le quotient de la distance parcourue divisée par le temps total nécessaire pour la parcourir, y compris les durées d'arrêt<sup>35</sup>. Contrairement à la vitesse moyenne, la vitesse commerciale intègre les temps d'arrêt aux stations. Des données fournies par la CTS et reprises par la CUS estiment la vitesse commerciale moyenne du réseau CTS à 18 km/h en 2001, c'est-à-dire avec les quatre lignes de tramway A, B, C et D. Le rapport d'activité de 2005 de la CTS souligne une baisse de la vitesse commerciale en 2005 de 1.7% après 5 ans de hausse. Nous supposons à la lumière des données disponibles une augmentation annuelle de 2% durant les « 5 ans de hausse ». On peut ainsi estimer à environ 18.8 km/h la vitesse commerciale en 2005. Toutefois, il convient de rester prudent à double titre face à ce résultat. D'une part, c'est une vitesse commerciale moyenne sur l'ensemble du réseau CTS qui, *a priori* intègre l'ensemble des lignes exploitées qu'elles soient urbaines (313 km de lignes bus et 25 km de lignes de tramway) ou interurbaines (359 km de lignes exploitées). De plus, cette moyenne n'intègre pas la distinction « heure de pointe », « heure creuse ». Nos calculs, qui portent exclusivement sur le réseau urbain, aboutissent à une vitesse commerciale moyenne arrondie de 16 km/h en période de pointe.

Comme l'on pouvait le supposer, les lignes présentant les vitesses commerciales les plus faibles sont celles qui desservent le centre-ville (lignes n° 10, n° 14) ou des quartiers denses en termes d'habitat et/ou d'activités (ligne

---

<sup>35</sup>Définition de Rivier et Tzierpulos donnée dans le cadre d'un cours



n° 4a, par exemple). A l'inverse des lignes reliant Strasbourg ou Illkirch-Graffenstaden à des communes périphériques telles la ligne n° 65 ou n° 66 au Sud et la ligne n° 71 ou n° 72 au Nord présentant les vitesses commerciales les plus élevées.

### *La détermination des fréquences*

Le calcul des temps de parcours selon la méthode du plus court chemin considère, lorsqu'il y a des correspondances, le temps d'attente entre chaque véhicule et par conséquent la fréquence de chaque ligne. La fréquence d'une ligne peut se définir comme l'intervalle de temps entre deux véhicules à un point d'arrêt donné. Tout comme pour les vitesses, une fréquence est déterminée pour chaque ligne, à partir des fiches horaires. Les précisions apportées précédemment sur la signification des vitesses s'appliquent également aux fréquences.

### *Les fréquences obtenues*

Les fréquences obtenues sont présentées dans l'annexe 5. Les lignes de tramway sont, à l'exception de la ligne D, celles présentant les temps d'attente entre deux véhicules les plus faibles (fréquences d'environ 5 minutes). Il en est de même pour certaines lignes de rabattement sur le réseau tramway (lignes n° 19 ou n° 2 et n° 2a). A l'inverse, les lignes traversant plusieurs communes ont une fréquence en heure de pointe d'environ demi-heure. C'est le cas de la ligne n° 21 qui relie Strasbourg à Kehl en Allemagne.

### **VI.1.3 L'offre de transport en commun en 1993 : le problème de la reconstitution de la donne**

Comme le souligne Alain Bonnafous [20], la disponibilité de la donne peut amener à remettre en cause la séquence problématique/donne/analyse. Sans en arriver à ce stade, l'impossibilité d'obtenir des données du type des fiches horaires pour 1993, s'avère frustrante dans l'optique d'une comparaison du niveau d'accessibilité précédant et suivant la mise en place du tramway. De ce fait, nous avons envisagé de reconstruire les informations manquantes à partir des éléments existants dont nous disposons. Nous présentons les différentes étapes de la détermination des vitesses et des fréquences en vigueur sur le réseau de transports en commun de 1993. Il convient toutefois de garder à l'esprit que reconstruire la donne s'apparente à « reconstituer le mammoth à

partir de sa dent » ! Cela impose des hypothèses et des choix méthodologiques contestables en laissant nécessairement dans l'ombre certaines dimensions de la réalité.

### *Etat des lieux des données disponibles*

Les seules données dont nous disposons sont les plans papier des réseaux de transports en commun de 1993 et 2005, et les lignes de bus et de tramway numérisées qui en sont issues, ainsi que les fiches horaires pour 2005.

### *Méthode utilisée pour reconstituer la donnée*

La méthode utilisée pour déterminer les vitesses consiste à superposer les réseaux numérisés des deux années considérées comme illustré par la figure 11.

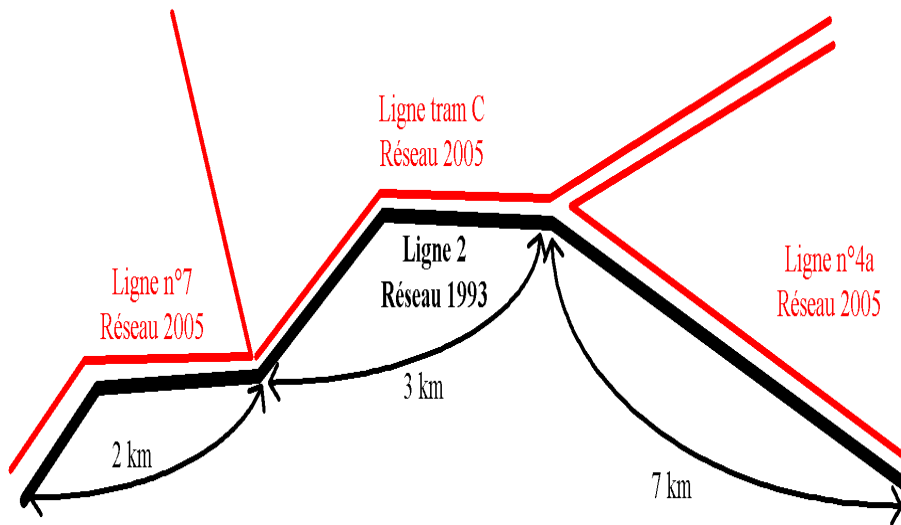


FIG. 11 – Illustration de la méthode de reconstitution de la donnée

On envisage dès lors la composition de chaque ligne du réseau 1993. Autrement dit, à partir du SIG on détermine les tronçons de lignes 2005 qui ont remplacé les tronçons de ligne du réseau 1993. On évalue alors le poids de chaque tronçon du réseau 2005 dans chaque ligne de 1993. On attribue ensuite la vitesse de chaque tronçon 2005 sur la ligne 1993 en fonction de son poids dans cette même ligne (cf. tableau 10). On procède de la même manière pour établir les fréquences de chaque ligne.

Rés. 1993	Rés. 2005	Part	Situation 2005		Calculs pour 1993	
			Freq	Vit	Freq	Vit
Ligne 2	Tram C	0.25	5	14.5	1.25	3.5
	Ligne 7	0.15	7	16	1.4	3
	Ligne 4a	0.60	10.00	12	6	7
		<b>1.00</b>			<b>9</b>	<b>13</b>

TAB. 10 – Reconstitution de l’offre en 1993 : exemple de la ligne n° 2

*Les hypothèses*

Nous posons les hypothèses suivantes :

- La vitesse d’une ligne 1993 est proportionnelle aux vitesses des tronçons 2005 qui la composent.
- La vitesse des bus sur une même ligne n’a pas évolué entre 1993 et 2005.
- Lorsqu’un ou plusieurs tronçons d’une ligne de bus de 1993 a été « remplacé » par un ou plusieurs tronçons d’une ligne de tramway, on ne considère pas la vitesse du tramway sur ces tronçons mais une vitesse calculée *ad hoc*. Nous avons dans un premier temps pensé établir cette vitesse en considérant la vitesse moyenne des lignes de bus de 2005. Toutefois, les lignes de tramway étant localisées dans les quartiers centraux de Strasbourg, on estime que les lignes de bus qu’elles ont remplacé circulaient à une vitesse moyenne inférieure à celle de l’ensemble des lignes de bus de 2005. Dès lors, la vitesse *ad hoc* est calculée sur la base de la vitesse moyenne des lignes desservant principalement les quartiers centraux en 2005<sup>36</sup>. La vitesse moyenne sur ces lignes est de 14,7 km/h en heure de pointe.

*Cohérence des données obtenues*

Les vitesses et fréquences obtenues sont répertoriées dans l’annexe 4. La vitesse commerciale moyenne et arrondie obtenue est de 14.5 km/h en période de pointe. Cette vitesses est inférieure de 12% en période de pointe aux vitesses calculées en 2005. Cette différence est liée, en raison de la méthode même de reconstitution de la donne, à l’absence de tramway en 1993 et aux

<sup>36</sup>Les lignes concernées sont les suivantes : 62, 63, 65, 70, 71, 72

bus, supposés plus lents, qui circulaient à la place. La vitesse commerciale fournie par la CTS sur l'ensemble de son réseau en 1993, est de 15.5 km/h. Tout comme précédemment, en l'absence d'informations plus précises, nous supposons que cette vitesse commerciale inclut non seulement la vitesse des lignes du réseau urbain mais également celle de lignes « intercités » non intégrées. De même que précédemment, on retrouve une certaine logique dans la mesure où les lignes avec les plus fortes vitesses commerciales suivent un itinéraire majoritairement localisé dans les quartiers périphériques, à l'inverse des lignes présentant de faibles vitesses commerciales. Sur la question des fréquences, l'absence de tramway tend à augmenter le temps d'attente d'un véhicule.

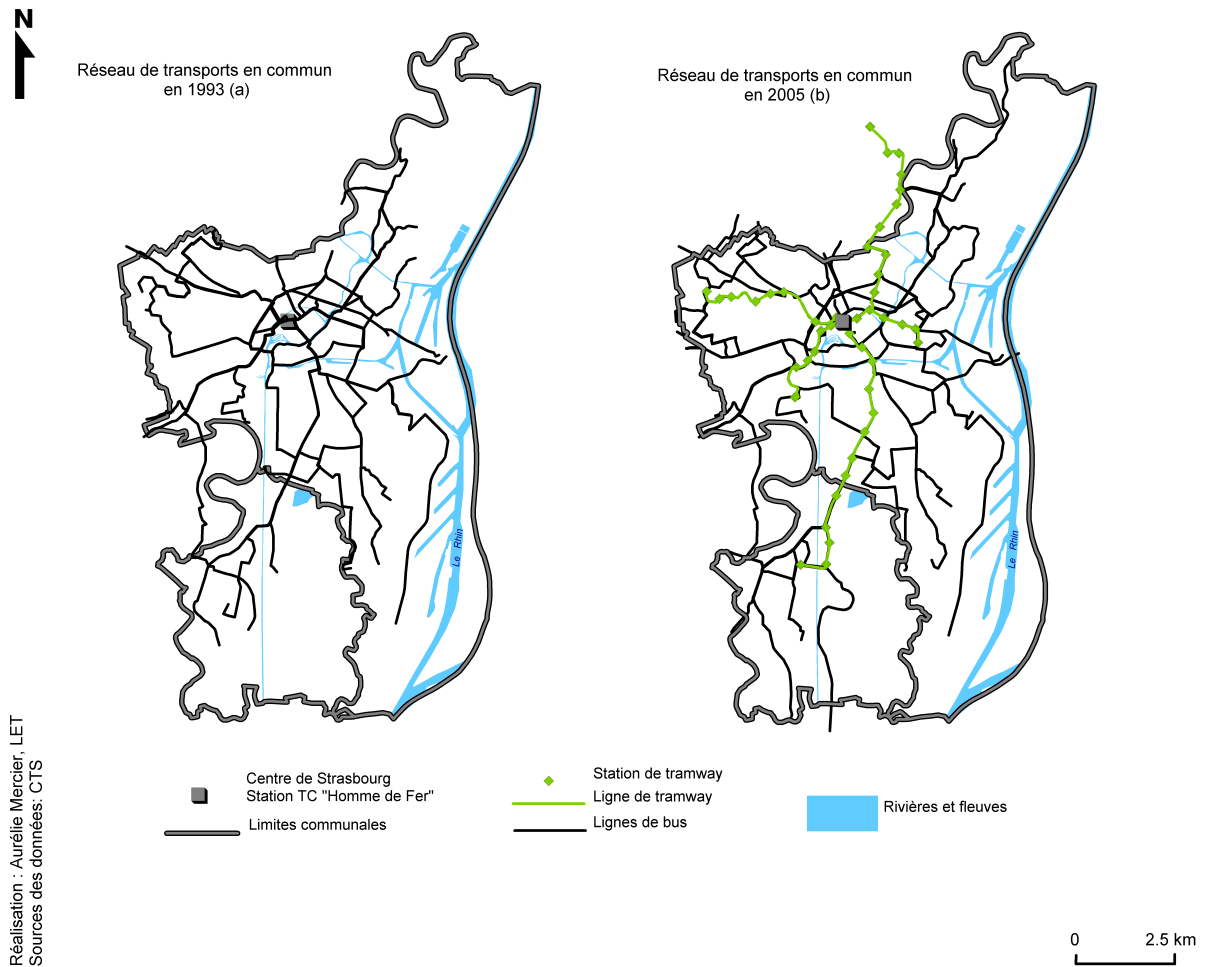


FIG. 12 – Représentation des couches thématiques des réseaux de transports en commun en 1993 et en 2005

\*  
\* \*

Le manque d'information sur les caractéristiques de l'offre de transports en commun constitue l'un des écueils principaux pour la mise en œuvre opérationnelle de notre SIG. Si la détermination des vitesses et des fréquences pour le réseau de 2005 est réalisée à partir des fiches horaires élaborées par la CTS, l'absence de telles sources pour 1993 nous a obligé à reconstituer la donne.

## VII Conclusion du chapitre 3

Construire un SIG-T peut s'apparenter à assembler entre elles les pièces d'un puzzle représentant chacune une fraction de la réalité. Ainsi, notre SIG vise à modéliser l'offre de transport, en 1993 et 2005, et à la relier aux emplois disponibles afin d'évaluer la variation d'accessibilité aux emplois résultant de la réorganisation du réseau de transports en commun strasbourgeois. Nous nous inscrivons ainsi dans une démarche rétrospective dont l'intérêt en termes d'évaluation économique nécessite une connaissance *a posteriori* des réalités de 1993 et 2005. La construction, à proprement parler, d'un puzzle ne peut se faire que si toutes les pièces nécessaires sont réunies.

Les méthodes d'acquisition des données sont multiples mais nécessitent la participation de divers acteurs pour reconstituer la chaîne d'information sur les déplacements [163] et la localisation des activités. Les deux premières couches thématiques du SIG visent ainsi à délimiter le territoire d'étude et à localiser les emplois de manière la plus précise possible. Nous nous heurtons là à la difficulté majeure de notre travail de collecte de données dans la mesure où les données sur la localisation des emplois en 2005 et 1993 nous restent inaccessibles. Un travail de « reconstitution de la donne » est alors nécessaire tout comme pour l'introduction des couches thématiques propres aux réseaux de transport. Les réseaux routiers et de transports en commun sont reconstitués à partir de plans numérisés mais leurs caractéristiques sont modélisées selon deux méthodes différentes. Les attributs des lignes de transports collectifs sont fixés à partir des fiches horaires recensant fréquences et heures de passage aux arrêts pour chaque ligne en 2005. Ne disposant pas de ces informations pour l'année 1993, nous avons reconstitué les attributs de chaque ligne présente sur le réseau en 1993. Le réseau routier, en dépit d'une structure identique pour les deux années étudiées, intègre également des attributs nécessitant une étape de reconstitution de la donne. La vitesse sur l'ensemble des tronçons du réseau n'est pas connue et son calcul nous amène à envisager la mise en œuvre d'un modèle à quatre étapes. Contrairement aux attributs de localisation des emplois ou des caractéristiques des lignes de bus en 1993, le manque de données ne provient pas du nonaccès à l'information mais plutôt d'une absence d'information. Si les comptages de la Direction de l'Équipement nous sont communiqués pour les réseaux routiers principaux, il n'en n'est pas de même pour le réseaux secondaires. Dans un objectif d'homogénéité des attributs, nous déterminons les vitesses sur

### *CHAPITRE 3*

---

l'ensemble du réseau à partir des trafics recensés dans les Enquêtes Ménages Déplacements.

La reconstitution de la donnée nécessaire pour réaliser chacune des couches thématiques de notre SIG se traduit certes par une approximation de la réalité mais reste le seul moyen d'envisager rétrospectivement les conditions d'accès aux emplois. A l'issue de ce chapitre présentant l'élaboration du SIG-T et la modélisation des réseaux de transport, nous sommes en mesure d'envisager le calcul des différentes composantes de l'accessibilité gravitaire.

# Chapitre 4 : De l'offre de transport à la détermination de l'accessibilité

## I Introduction

Ce chapitre constitue le prolongement direct du chapitre précédent consacré à la construction de l'outil dans sa version « de base ». Grâce à la construction des différentes couches représentant les réseaux de transports et la localisation des emplois, le SIG nous offre ainsi la possibilité de déterminer, entre chaque micro-zone de l'aire d'étude, la distance et le temps de transport nécessaire pour la parcourir. Comme nous l'avons souligné au cours du chapitre précédent, l'intérêt de ce SIG réside dans une intégration précise des vitesses en fonction des caractéristiques et de la congestion propres à chacun des tronçons et ce, quel que soit le mode emprunté (automobile ou transports en commun). Compte tenu de ces atouts, l'objectif de ce chapitre est de « formater » l'outil en intégrant nos propres contraintes et de l'adapter dans l'optique de mesurer l'accessibilité. Ainsi, au cours de ce chapitre nous adopterons une démarche en procédant « étape par étape » pour, à partir des fonctionnalités du SIG, parvenir à mesurer l'accessibilité pour les automobilistes et les usagers des transports en commun.

L'accessibilité sera mesurée à partir de la formule suivante :

$$A_i = \sum_j D_j \exp^{-\beta C_{ij}}$$

avec

–  $A_i$  l'accessibilité depuis la zone  $i$



- $D_j$  les opportunités présentes dans la zone  $j$
- $\beta$  un paramètre
- $C_{ij}$  le coût généralisé du déplacement entre les zones  $i$  et  $j$

L'accessibilité, qui sera calculée depuis chaque zone de l'aire d'étude vers l'ensemble des autres zones, peut être qualifiée d'accessibilité locale [31]. Le niveau d'accessibilité dépend de deux variables que sont le niveau d'opportunités à destination et le coût généralisé, entre les zones  $i$  et  $j$ , pondéré par le paramètre *Beta*. Si le niveau d'opportunité peut être directement obtenu, il est en revanche nécessaire de procéder à une série de calculs pour déterminer le coût généralisé. On peut définir le coût généralisé d'un déplacement par la somme du « prix monétaire du déplacement » et du temps de déplacement pondéré par la valeur moyenne du temps ressenti par les usagers :

$$CG_{ij} = C_{ij} + T_{ij} * VdT$$

avec

- $CG_{ij}$  le coût généralisé du déplacement entre les zones  $i$  et  $j$
- $C_{ij}$  le coût monétaire du déplacement entre les zones  $i$  et  $j$
- $T_{ij}$  le temps de déplacement entre les zones  $i$  et  $j$
- $VdT$  la valeur du temps

Le coût généralisé comporte donc une dimension temporelle et une dimension monétaire qui elles-mêmes peuvent revêtir des formes différentes. Ainsi, au-delà du temps de déplacement « en véhicule », le coût généralisé peut également intégrer, au travers du coût temporel la perception qu'a l'utilisateur des conditions de déplacement (confort, pénibilité, temps d'accès au réseau, ruptures de charges, temps d'avance ou de retard d'une liaison par rapport à l'horaire annoncé ...). Le coût effectif du déplacement devient alors un coût perçu (section II).

Moins subtile que la notion de coût temporel, la notion de coût monétaire mérite toutefois d'être explicitée. La section III abordera ainsi les composantes traditionnellement intégrées dans le coût monétaire. A l'issue de cette section nous serons en mesure de déterminer le coût généralisé.

La formule de l'accessibilité gravitaire souligne que ce coût généralisé doit être pondéré par un paramètre  $\beta$ , qualifié de facteur de conductance. En traduisant la plus ou moins grande résistance au coût de déplacement, ce

paramètre présente une importance cruciale pour la mesure de l'accessibilité. La section IV lui sera consacrée.

Tout au long des quatre premières sections, des hypothèses traduisant la perception du confort ainsi que de la composition du coût monétaire sont posées. Celles-ci traduisent nécessairement une vision partielle de la réalité. Pour évaluer l'impact de ces hypothèses sur les résultats obtenus et valider par la même nos choix, nous consacrerons la section V à des tests de sensibilité.

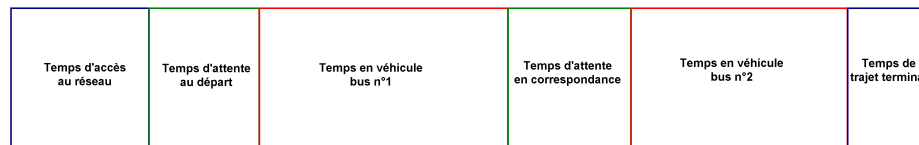
## II Des temps de déplacement au coût temporel

Le temps « complet » de déplacement entre deux points n'est le plus souvent pas uniforme mais se décompose en une série de sous-déplacements [32] variant selon les itinéraires et les modes empruntés. Les deux types de déplacements, en voiture et en transports en commun, illustrés par la figure 13 présentent chacun un ou plusieurs sous-déplacements « en véhicule » ainsi que des sous-déplacements visant à accéder au réseau et à réaliser le trajet « terminal » entre le réseau et la destination finale. Parallèlement, chaque mode présente des particularités : les déplacements automobiles s'accompagnent d'un temps de recherche d'une place de stationnement tandis que les temps d'attente au départ ou en correspondance sont inhérents aux déplacements en transports en commun. Il est nécessaire de visualiser cette imbrication de sous-ensembles de déplacements pour mieux anticiper leurs répercussions sur les temps de déplacement et sur leur perception par les usagers. Ainsi, au cours de cette section, nous détaillerons la composante temporelle pour chacun des deux modes. Dans un premier temps, revenons sur la question la valorisation du temps qui accompagne inéluctablement celle des temps de déplacement.

**Décomposition d'un déplacement automobile**



**Décomposition d'un déplacement en transports en commun**



Réalisation : Aurélie Mercier, LET

FIG. 13 – Décomposition d'un déplacement en voiture particulière et en transports en commun

## II.1 La valeur du temps

Le concept de valeur du temps, dans son acception générale, trouve son origine dans le cadre de la théorie micro-économique standard et est rapidement appliqué au champ des transports [14]. Le transport est ainsi considéré comme une consommation intermédiaire dans la mesure où il constitue une condition nécessaire, mais non suffisante, à la réalisation d'une activité. Dès lors, l'individu rationnel, désireux de maximiser son profit, cherche à réduire le coût du transport en diminuant notamment le temps qu'il y consacre. L'objectif de minimisation du temps de transport à l'échelle individuelle se retrouve également pour déterminer les choix collectifs. La valeur du temps constitue un élément essentiel de l'évaluation économique des investissements de transport. Les avantages non monétaires de la réalisation d'infrastructures de transport proviennent ainsi pour les quatre cinquièmes des gains de temps. La valorisation du temps de transport apparaît sensible à bien des égards. Afin d'éclaircir les origines et les développements de ce concept, nous rappellerons ses principaux fondements théoriques avant de nous attacher à sa mise en œuvre « pratique ».

### II.1.1 Rappels théoriques

*Un concept développé dans le cadre de la théorie micro-économique*

La notion de valeur du temps fut introduite en 1965 par Becker dans le cadre de la théorie de l'allocation des ressources temporelles [13]. Le temps étant considéré comme une ressource rare, l'agent arbitre entre ses différentes activités et les diverses marchandises qu'il peut acheter. En d'autres termes, chaque individu opère un arbitrage entre le temps consacré au travail (qui procure un revenu permettant d'acquérir les biens intermédiaires) et le temps consacré à la production domestique de satisfactions dans le souci permanent de maximiser son utilité. La maximisation de l'utilité est subordonnée à trois contraintes qui sont la contrainte de la fonction de production pour chaque marchandise, celle de la fonction d'usage du temps consacré au travail ou à la production domestique (contrainte d'allocation du temps disponible) et celle de la fonction d'équilibre budgétaire (contrainte de revenu). A l'optimum, l'individu « égalise les taux marginaux entre ressources temporelles et matérielles utilisées pour chaque activité » et parvient ainsi à une valeur du temps unique. Lorsque le revenu augmente, il s'opère une substitution entre les activités de consommation « à forte nécessité temporelle » et les activités à durée plus faible. Un tel raisonnement peut être appliqué au domaine des transports. Le transport étant une consommation intermédiaire, l'individu cherchera à substituer un mode rapide à un mode lent pour réinvestir le gain de temps obtenu dans une autre activité. La théorie de l'allocation optimale des ressources temporelles, en étant la première à introduire le temps dans la fonction d'utilité, souligne l'importance du temps dans les actions de chacun. Sa portée apparaît néanmoins limitée dans la mesure où elle confère au temps une valeur commune quelles que soient les activités réalisées. C'est ainsi que ce modèle s'est vu enrichi de nombreux prolongements afin de mettre en évidence l'existence de valeurs du temps aussi variées que le nombre d'activités possibles.

Dans cette optique, De Serpa [53] considère que l'utilité retirée de la consommation d'un bien est à la fois fonction du temps nécessaire à la consommation et de la quantité consommée. Il introduit ainsi des « contraintes sur la durée nécessaire à certaines activités » qualifiées de contraintes « technologiques ou institutionnelles » pour expliquer la variabilité des valeurs du temps et conclut alors à deux valeurs du temps distinctes. La première, en

considérant « la valeur du temps comme ressource », reprend l'approche de Becker, et ce d'autant plus qu'elle est unique. La seconde fait référence à « la valeur d'une économie de temps dans une activité donnée » et varie en fonction des activités. Cette dernière valeur, au contraire de la précédente, peut se mesurer. Contrairement à Becker qui considère le temps comme une ressource homogène et parfaitement divisible, De Serpa revient sur le caractère d'uniformité et établit sa théorie dans un contexte de choix discret. Divers prolongements ont ensuite été apportés aux modèles de base. Ainsi Evans en 1972 [69] puis Jara-Diaz plus récemment [95] ont établi des fonctions d'utilité dépendant uniquement du temps consacré à chaque activité tout en introduisant « des liaisons entre durées consacrées à chacune d'entre elles » (pour une présentation plus détaillée, voir Hammadou et Jayet [84]).

*L'application des modèles au domaine des transports*

De tels modèles ont été largement appliqués dans le domaine des transports notamment dans un contexte de choix du mode de transport. De fait, le transport constitue une activité « peu génératrice de bien-être » et consommant simultanément des budgets en temps et en ressources financières. Le transport n'est pas considéré comme une consommation finale mais intervient au contraire dans la réalisation d'autres activités. Ainsi, en reprenant la théorie micro-économique standard, la valeur du temps peut être interprétée comme le « taux marginal de substitution entre durée et coût du trajet ». Elle indique en effet dans quelle proportion le consommateur doit renoncer à une partie de son revenu pour économiser une unité de temps de déplacement. La réduction d'une unité de temps de trajet exige de fait, en contrepartie, un coût monétaire plus important. En reprenant la présentation de Matthieu de Lapparent[51], la valeur du temps  $\pi(\bar{Z})$  peut ainsi s'écrire :

$$\pi(\bar{Z}) = - \frac{\frac{\partial W}{\partial t_T}}{\frac{\partial W}{\partial (\bar{R} - p_T)}}$$

avec

- $W$  l'utilité
- $t_T$  le temps de déplacement
- $\bar{R}$  le revenu
- $p_T$  le coût de déplacement

Le taux marginal de substitution représente ainsi la somme d'argent que le consommateur est prêt à dépenser dans le but d'économiser « sa dernière

unité de temps de déplacement en conservant le même niveau d'utilité ». Aussi, la valeur du temps correspond-elle à la « relation d'équilibre entre prix et temps assurant le même niveau de satisfaction de l'individu ». Elle permet d'évaluer le niveau de préférence relative du consommateur en faveur d'une réduction du temps de trajet. De fait, l'augmentation de la durée du déplacement est « désutile » au voyageur ( $\partial W/\partial t_T \leq 0$ ) et l'accroissement de son revenu net, lui, est strictement utile ( $\partial W/\tilde{R} - p_T > 0$ ). Plus un agent dispose d'un revenu important, plus sa propension à payer une « économie de temps de voyage » sera élevée.

Après avoir présenté brièvement les principaux fondements théoriques, nous envisageons la détermination de la valeur du temps de transport.

### II.1.2 La valeur du temps en pratique

La valeur du temps, considérée comme « le prix que l'individu est disposé à payer pour économiser une unité marginale de temps étant donné un objectif et un niveau de revenu », recouvre une diversité de situations qui s'inscrivent dans des réalités souvent très différentes les unes des autres. Selon Quinet, Touzery et Triebel [145], il existe deux principaux concepts de valeurs du temps : la valeur du temps ressentie par les usagers et la valeur du temps tutélaire.

#### *Les valeurs du temps ressenties par les usagers*

La valeur du temps ressentie par l'utilisateur sert à expliquer le comportement du consommateur en matière de choix de mode ou d'itinéraire. Elle est définie comme une « valeur individuelle », caractérisent le prix qu'un usager consent à payer pour obtenir un gain de temps sur un trajet. Ce type de valeur intervient ainsi davantage pour évaluer une demande de trafic que pour assurer la rentabilité d'un projet. Si le concept de valeur tutélaire est fondé, du fait de son unicité, sur un critère d'équité, il n'en va pas de même pour les valeurs du temps perçues par les usagers. Celles-ci sont en effet propres à chacun et sont établies par l'individu lui-même, en fonction des différents scénarii qui s'offrent à lui. La détermination des valeurs du temps propres aux usagers est issue des modèles de trafic. En reconstituant le comportement des individus face aux conditions de circulation et à l'offre de transport, les modèles permettent de déduire les « préférences » des individus et *in fine* une valeur du temps. Toutefois, ces modèles comportent de nombreux biais

(données de calibrage, erreurs de simulations de trafic...) qui, ajoutés à la diversité des réseaux (pays, période) et à la complexité des comportements individuels (un individu peut préférer un itinéraire moins rapide mais plus sûr) ne permettent pas de définir une valeur « pure » du temps [44]. Face à de telles limites, la valeur du temps est maintenant souvent établie à partir du concept de préférences déclarées.

Les enquêtes de préférences déclarées se fondent sur des déclarations d'intention afin de connaître le consentement marginal à payer des individus pour bénéficier d'une unité de temps sur leur parcours. Plusieurs scénarii de choix hypothétiques sont alors présentés aux individus qui, en valorisant un projet plutôt qu'un autre, exprimeront leur préférence relative. La méthode des préférences déclarées, contrairement à celle des préférences révélées, permet d'envisager le comportement des usagers face à de nouveaux projets d'infrastructure ou à la mise en œuvre de nouveaux modes de transport. Néanmoins, dans sa thèse, Segonne [153] recense les principaux biais imputables à la méthode des préférences déclarées. L'individu peut en effet établir des consentements à payer inférieurs ou supérieurs à ceux qu'il offrirait dans la réalité (biais de non-engagement) ou répondre en fonction des préférences de l'enquêteur plutôt qu'en suivant ses propres opinions. Le biais de rationalisation remarque que le subconscient de l'individu peut influencer certains choix dans un souci de rationalisation (ou de justification) du comportement. Enfin, l'enquêté peut se croire capable d'influencer les décisions politiques en dissimulant son réel consentement à payer au profit d'un montant plus faible. Il se comporte alors comme un passager clandestin et réalise potentiellement un surplus. C'est le biais de la réponse politique.

Aucune des deux méthodes principales d'enquête ne peut fournir de valeur fiable et uniforme du temps. Compte tenu de ces limites et de la nécessité de valoriser les gains de temps dans l'évaluation économique, des valeurs tutélaires sont avancées.

### *Les valeurs du temps tutélaires*

Les valeurs du temps tutélaires sont des valeurs normatives, mais pas arbitraires, établies pour évaluer les gains de temps procurés aux usagers par la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport. Si, à l'origine, la valeur tutélaire ne tenait pas compte du point de vue des administrés, elle est aujourd'hui censée refléter la préférence collective. Cette valeur est ainsi

fondée sur « ce que l'on sait du comportement des usagers à travers le calage des modèles ou les enquêtes »[44]. Les valeurs tutélaires tiennent compte d'une différenciation entre milieu urbain et interurbain. En milieu urbain, ces valeurs se décomposent en fonction des motifs de déplacement (motif professionnel, domicile-travail, autre, valeur moyenne lorsqu'on ne dispose pas du détail). En milieu interurbain, la décomposition se fait en fonction du mode de déplacement et des distances (route, fer 2ème classe, fer 1ère classe et distances inférieures à 50 km ou à 150 km).

L'instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures [130] s'appuie sur les travaux du Plan et retient, en milieu urbain, des valeurs du temps en fonction des motifs de déplacement et non des modes empruntés. Pour le Commissariat Général du Plan [44], la différenciation entre automobile et transports collectifs réside principalement dans la prise en compte des éléments de confort. De fait, bien souvent le temps de transport ressenti par l'utilisateur intègre les conditions dans lesquelles est effectué le déplacement. Ces dernières sont par ailleurs prises en compte au cours de notre thèse (cf. sous-section II.3.3). Pour le motif domicile-travail qui nous intéresse dans cette thèse, la valeur 12 €/h sera ainsi considérée<sup>37</sup> pour 2005 et 10.2 € pour 1993 (valeur en euros 2005). Soulignons néanmoins que le STIF impose une valeur du temps de 14.6 € (euros 2005) pour l'évaluation des projets de transport collectif, valeur également utilisée par la RATP. Cette valeur, sensiblement plus élevée que celle proposée par l'instruction cadre ne sera pas intégrée dans la suite du travail pour les raisons suivantes :

- Les coefficients de valorisation du confort, fortement liés aux gains de temps, provenant de l'instruction cadre, il convient de garder une certaine cohérence interne en appliquant les valeurs tutélaires du temps qu'elle avance.
- Les données utilisées par le STIF et la RATP (calculées à partir de la rémunération horaire) s'appliquent à l'agglomération parisienne et ne peuvent être transposées directement au cas de Strasbourg dont le périmètre et le niveau de salaire ne sont pas comparables.

Le concept de valeur du temps, apparu dès les années 60, est pris en

---

<sup>37</sup>Les données fournies sont en euros 2000, sachant que l'instruction cadre préconise une évolution d'une année sur l'autre en fonction de la dépense de consommation des ménages par tête avec une élasticité de 0.7



compte dans le cadre de l'évaluation économique des infrastructures de transport. Au cours de notre étude, nous valoriserons le temps de transport en milieu urbain considérant les recommandations ministérielles, soit sur la base de 12 €/h pour 2005. La question de la valeur du temps résolue, attardons nous maintenant sur le temps de déplacement en lui-même et sur le périmètre qu'il recouvre.

## II.2 Le temps de déplacement en voiture particulière

Au-delà du temps passé à bord du véhicule, un déplacement automobile se décompose en trois autres phases que sont chronologiquement le temps d'accès au réseau, le temps de recherche d'une place de stationnement et le temps de trajet jusqu'à la destination finale. Nous expliquerons tout d'abord le principe de détermination du temps en véhicule. Ensuite, nous traiterons simultanément la question de l'accès au réseau et des trajets terminaux avant d'aborder la question du temps consacré à la recherche d'une place de stationnement.

### II.2.1 Le temps de transport « en véhicule »

Le temps de transport en véhicule correspond au temps passé sur le réseau routier entre les centroïdes des zones origine et destination. Ce temps est calculé selon la méthode du plus court chemin intégré au logiciel *DAVISUM*. Il découle de l'algorithme de Dijkstra dont la principale caractéristique est de choisir le sommet au plus faible temps de déplacement cumulé comme prochain sommet à traiter [57]. Le logiciel tient compte des vitesses de circulation sur chacun des tronçons déterminées à partir du niveau de congestion, comme expliqué au chapitre 3. Ce n'est pas la distance entre deux points qui est minimisée mais bien le temps nécessaire pour relier ces points.

### II.2.2 La question de l'accès au réseau et des trajets terminaux

Les distances et, par conséquent, les temps de déplacements entre zones sont calculés de centroïde à centroïde. Or, les centroïdes souvent placés au centre gravitaire des zones se situent, pour la plupart des zones, à l'extérieur du réseau. Un temps d'accès au réseau doit donc être intégré dans le calcul des temps de déplacement. Le temps d'accès au réseau correspond à la distance à vol d'oiseau entre le centroïde considéré et le nœud du réseau le

plus proche, pondérée par une vitesse de déplacement. Derrière l'expression « temps d'accès au réseau routier », on entend principalement le temps mis par l'individu pour rejoindre à pied le lieu de stationnement de son véhicule ou bien le temps passé sur le réseau secondaire afin de rejoindre le réseau primaire. Partant de ce constat, il est possible d'envisager le temps d'accès comme une fonction de la densité de la zone et comme une fonction de la taille de la zone (Masson, [121]). Toutefois nous travaillons à une échelle zonale très fine, sur des zones de 250 mètres x 250 mètres, et prenons en considération l'ensemble du réseau routier, qu'il soit primaire ou secondaire. Dans notre travail, le temps d'accès au réseau se résume donc à un temps de marche à pied et nous considérons dès lors une vitesse d'accès au réseau de 3.5 km/h. Cette vitesse est légèrement inférieure à celle intégrée dans la plupart des études sur la marche à pied (qui envisagent une vitesse de 5 km/h) [76] car elle intègre également le départ depuis le domicile (ou le lieu de travail) et la prise du véhicule.

Les temps de trajets terminaux renvoient au temps de déplacement entre le lieu stationnement du véhicule et la destination finale auquel on peut associer le temps de recherche d'une place de stationnement. De même que pour le temps d'accès au réseau et pour des raisons identiques, nous posons l'hypothèse que le déplacement entre le lieu de stationnement du véhicule et la destination finale est réalisé à pied à une vitesse de 3.5 km/h. Contrairement aux temps d'accès au réseau et aux temps de trajets terminaux, la question du temps de recherche d'une place de stationnement est plus délicate.

### **II.2.3 L'évaluation du temps de recherche d'une place de stationnement**

Le temps de recherche d'une place de stationnement dépend de nombreux facteurs dont, en premier lieu, la localisation de la destination finale de l'individu mais également de facteurs propres à l'individu et à l'environnement dans lequel il évolue. Ainsi une étude menée par Sareco pour l'ADEME dans le cadre du PREDIT [152] souligne, parmi les facteurs humains, comme éléments importants, la connaissance du quartier, la durée prévue du stationnement, la perception des attributs de la place de stationnement (marche à pied nécessaire, perception des parkings ...), le respect de la réglementation et l'état d'esprit de l'individu (stressé, persévérant ...). Parallèlement aux facteurs humains, les facteurs urbains doivent également être pris en compte

pour évaluer le temps de recherche d'une place de stationnement. Les facteurs urbains renvoient d'une part aux caractéristiques du stationnement (densité de place par mètre linéaire de voirie, taux d'occupation des places, taux de rotation, réglementation) mais également à l'environnement extérieur (conditions de circulation, concurrence avec les autres usagers, date et heure de la journée). Le manque de connaissance des facteurs humains associé à la diversité des comportements possibles nous obligerait à rentrer dans un niveau de détail sortant du cadre de notre travail. Aussi, à la suite de Cullinane notamment, nous focaliserons-nous sur les facteurs urbains notamment ceux liés aux caractéristiques du stationnement.

Cullinane [50] met en évidence une relation fonctionnelle entre le temps de recherche d'une place de stationnement et le taux d'utilisation des capacités de stationnement tant pour les places de stationnement licites que pour les places de stationnement illicites. La forme fonctionnelle est identique pour les deux types de stationnements, seuls les paramètres changent. Le temps de recherche d'une place de stationnement licite s'écrit :

$$ast_L(t) = \alpha_L + \beta_L \left[ \frac{1}{1 - cu_L^2} \right]$$

avec :

- $ast_L(t)$  le temps de recherche d'une place de stationnement
- $\alpha_L$  et  $\beta_L$  des paramètres
- $cu_L$  le taux d'utilisation des capacités licites de stationnement et  $0 \leq cu_L \leq 1$

Comme le souligne Masson[121], cette fonction met en évidence d'une part le fait que la difficulté marginale pour trouver une place de stationnement augmente lorsque les capacités de stationnement diminuent. D'autre part, l'asymptote en y lorsque le taux d'utilisation approche l'unité souligne qu'il peut être impossible de trouver une place de stationnement. Avec un calage des paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  en fonction des temps minimum de 4 minutes et maximum de 11 minutes pour rechercher une place de stationnement, établis à partir d'une enquête menée sur Karlsruhe, S. Masson propose, à la suite de Cullinane, la forme fonctionnelle suivante illustrée figure 14.

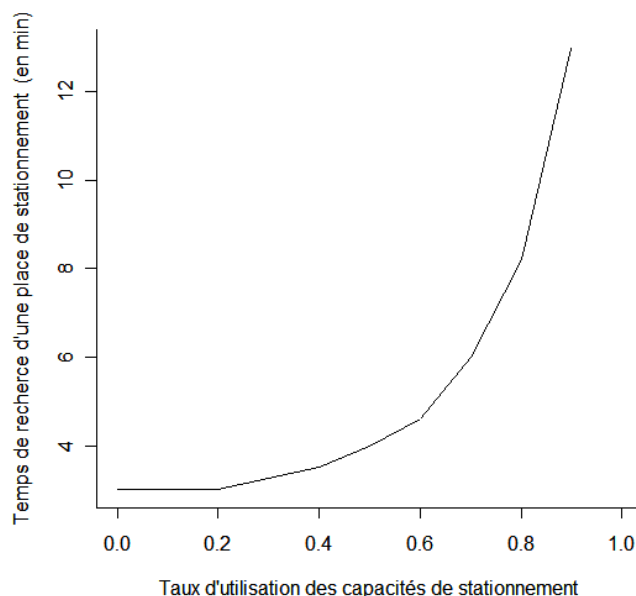


FIG. 14 – Fonction du temps moyen de recherche d'une place de stationnement

Considérant cette fonction, il convient de définir le taux d'utilisation des capacités de stationnement des zones de l'aire d'étude. Le taux d'utilisation des capacités de stationnement peut être défini comme le rapport de la demande de stationnement (hors privatif) sur l'offre de stationnement (hors privatif). Pour la suite de notre travail, nous posons les hypothèses suivantes :

- Le temps de recherche d'une place de stationnement ne sera calculé que pour les zones centrales de la commune de Strasbourg. Pour le reste de l'aire d'étude, on suppose que le temps de recherche d'une place de stationnement est nul. Les zones centrales sont regroupées dans cette section sous l'appellation *zone j* présentée figure 15 .
- Les résidents de la zone *j* ne disposent pas de parking privatif. Cette hypothèse semble plausible dans la mesure où la zone *j* est composée de logements anciens.
- Selon les données de l'EMD 1997, 14% des actifs travaillant dans la zone *j*, disposent d'une place de parking mise à disposition par l'employeur.

Considérons une zone *j*, la demande renvoie au nombre de véhicules à

destination de la zone  $j$  duquel on soustrait le nombre de véhicules disposant d'une place de parking réservée (parking entreprise). Nous pouvons donc écrire l'équation suivante :

$$dde_{HP} = \frac{Nd_j}{Tx_{occ}} - \left[ \frac{Nd_{Trav}}{Tx_{occ}} * NB_{PInd_j} \right]$$

avec

- $Nd_j$  le nombre de déplacements vers  $j$  en voiture particulière
- $Tx_{occ}$  le taux d'occupation des véhicules
- $Nd_{Trav}$  le nombre de déplacements à destination du travail
- $NB_{PInd_j}$  le nombre d'individus travaillant dans la zone  $j$  et disposant d'une place de parking

L'offre de stationnement est le produit des capacités de stationnement hors privatif et du taux de rotation. Par l'expression « capacité de stationnement hors privatif », on entend le nombre de places de stationnement en ouvrage, le nombre de places de stationnement sur voirie payant et le nombre de places de stationnement sur voirie gratuit (ce dernier étant nul dans la zone  $j$ ).

Les données se rapportant au nombre de déplacements ainsi qu'aux individus disposant d'une place de parking sur leur lieu de travail nous sont fournies par l'EMD 1997. On suppose que ces deux variables prennent des valeurs identiques en 1993 et en 2005. Les capacités de stationnement sont estimées à partir des données de ParcUS<sup>38</sup> et de la CUS [4] à environ 105 000 « places potentielles » en 2005 et 75 000 places en 1993. Si le nombre de places de stationnement total a augmenté, entre ces deux dates, l'offre de stationnement est devenue exclusivement payantes. Les 2 300 places gratuites sur voiries existantes en 1993 sont devenues payantes. Le taux d'occupation des véhicules (1,3 personne par véhicule) a été fourni par le PDU. La question du taux de rotation des véhicules est plus délicate. Nous déterminons le taux de rotation en nous référant aux données fournies par Bays et Christe à Lausanne [12]. Le tableau 11 présente les taux de rotation pour les types de stationnement qui nous intéressent dans le cas de Strasbourg.

Le taux d'utilisation des capacités de stationnement dans la zone  $j$  est estimé entre 0,8 et 0,9 suivant les différentes hypothèses possibles pour 2005

---

<sup>38</sup>Société des parkings de la Communauté Urbaine de Strasbourg : <http://www.parcus.com/html/accueil.htm>

Type de stationnement	De (véh/jour/place)	A (véh/jour/place)
Parcomètre 10 minutes	70	90
Parcomètre 1 heure	15	20
Zone bleue (max 1h30)	8	15
Garage parc en centre-ville	3	4
Parking libre	2	3

TAB. 11 – Taux de rotation des véhicules en fonction du type de stationnement à Lausanne

et 1993<sup>39</sup>. Selon la fonction de Masson, illustrée par figure 14, nous obtenons un temps moyen de recherche d’une place de stationnement de 10 minutes environ en 2005.

### II.3 Le temps de déplacement en transports en commun

Un déplacement en transports en commun est moins « linéaire » qu’un déplacement automobile. Au temps d’accès au réseau et au temps de trajet terminal s’ajoutent un temps d’attente du véhicule ainsi qu’un temps d’accès et d’attente aux correspondances s’il y a lieu. Cette particularité inhérente aux transports en commun nous amène ainsi à la question du confort. Comment valoriser le temps « perdu » dans ces ruptures de charge ? Plus généralement, une minute passée dans les transports en commun a-t-elle la même valeur qu’une minute passée à se déplacer en voiture particulière ? Pour répondre à ces questions nous organiserons notre propos en trois temps. Nous présenterons tout d’abord la méthode retenue pour déterminer le temps de déplacement, en transports en commun, le plus court entre chaque zone. Nous nous attacherons ensuite aux différentes composantes d’un déplacement en transports en commun avant d’envisager la prise en compte du confort.

#### II.3.1 Principe de détermination du temps de déplacement

Le temps de déplacement, entre deux zones, intégré dans nos calculs est calculé à partir du logiciel *DAVISUM* en suivant la procédure d’affectation

<sup>39</sup>Si l’offre est plus faible en 1993, la demande l’est elle aussi. La comparaison des données entre les EMD 88 et 97 montre un accroissement du nombre de déplacements en VP à destination du centre de 6% par an même si le périmètre plus large de l’enquête de 1997 introduit un biais dans les résultats.

« selon les horaires » dans sa variante « recherche du plus court chemin ». La recherche du plus court chemin s'effectue en tenant compte des heures de départ et d'arrivée enregistrées à partir des fiches horaires ainsi que des coefficients pondérant les composantes du déplacement. La période « heure de pointe » s'étalant sur 2 heures, l'algorithme recherche les coûts généralisés les plus faibles dans l'ensemble de la période et pas uniquement pour une heure de départ donnée. Ainsi, pour relier deux zones, plusieurs alternatives peuvent présenter des coûts similaires. Afin d'arbitrer entre ces alternatives, deux solutions s'offrent à nous : d'une part favoriser les liaisons les plus rapides, d'autre part favoriser les liaisons avec le moins de correspondances. Nous optons pour la première en n'affectant pas de « malus » pour les ruptures de charge.

La procédure de calcul du plus court chemin s'effectue de la manière suivante :

- Détermination de toutes les heures de départ possibles depuis la zone  $i$  et ce, en fonction des horaires.
- Calcul du coût généralisé pour chaque itinéraire.
- Détermination de la meilleure alternative, qualifiée de « chemin optimal ».

### II.3.2 Les composantes temporelles d'un déplacement en transports en commun

Le temps de déplacement en transport en commun est généralement constitué du temps de transport en véhicule, des temps de rabattement et d'accès à destination, du temps d'attente au départ et aux correspondances ainsi que du temps de trajet entre les points de correspondances. Toutefois, au-delà du temps de déplacement « réel », le temps généralisé peut également intégrer, au travers du coût temporel, la perception qu'a l'usager des conditions de déplacement (confort, pénibilité des temps d'accès au réseau, ruptures de charges, temps d'avance ou de retard d'une liaison par rapport à l'horaire annoncé ...).

Dans le cadre d'un temps généralisé, on a :

$$T_{ij} = TEV + TR + TAX + TMaP + TAD + TAC$$

avec

- $TEV$  le temps de transport en véhicule
- $TR$  le temps de rabattement à l'arrêt
- $TAX$  le temps d'accès à destination
- $TMaP$  le temps de marche à pied entre correspondances
- $TAD$  le temps d'attente au départ
- $TAC$  le temps d'attente aux correspondances

Ces différentes composantes du temps de déplacements sont généralement pondérées par une valeur du temps unique. Toutefois lorsque des critères plus subjectifs de confort, de pénibilité de rupture de charge et de temps d'avance ou de retard sont considérés, le temps de déplacement devient :

$$T_{ij} = TEV * k_c + TR * k_{TR} + TAX * k_{TAX} + TMaP * k_{TMaP} + TAD * k_{TAD} + TAC * k_{TAC} + T_i^{avance} * k_{Tavance} + T_j^{retard} * k_{Tretard} + NR * k_r$$

avec

- $k_c$  un coefficient traduisant le niveau de confort en véhicule
- $k_{TR}$  un coefficient traduisant la pénibilité pour accéder au réseau
- $k_{TAX}$  un coefficient traduisant la pénibilité pour rejoindre le lieu de destination depuis la station de descente
- $k_{TMaP}$  un coefficient traduisant la pénibilité de la marche à pied entre correspondances
- $k_{TAD}$  un coefficient traduisant la pénibilité du temps d'attente au départ
- $k_{TAC}$  un coefficient traduisant la pénibilité du temps d'attente en correspondance
- $T_i^{avance}$  le temps d'avance par rapport à l'horaire annoncé
- $k_{Tavance}$  un coefficient traduisant la sensibilité aux départs anticipés
- $T_j^{retard}$  le temps de retard par rapport à l'horaire annoncé
- $k_{Tretard}$  un coefficient traduisant la sensibilité aux départs retardés
- $NR$  le nombre de ruptures de charge
- $k_r$  un coefficient traduisant la pénibilité liée à une rupture de charge

Les composantes temporelles du coût généralisé sont au nombre de six. Nous considérerons ainsi successivement le temps de transport en véhicule,



le temps de rabattement/d'accès à destination, le temps d'attente au départ/aux correspondances puis le temps de marche à pied entre correspondances.

### *Le temps de transport en véhicule*

Le temps de transport en véhicule correspond la somme du temps passé en bus (et/ou en tramway) depuis chaque station de montée jusqu'à chaque station de descente sans quitter le véhicule. Ce temps est estimé en considérant le temps de parcours minimal entre deux zones à partir de vitesses et de fréquences par lignes prédéterminées (cf. chapitre 3). Il tient ainsi compte des conditions de circulation et de la topologie du réseau, intégrées dans les fiches horaires. Nous privilégions les liaisons les plus rapides au détriment de celles offrant le moins de correspondances. Nous considérons par ailleurs un temps de déplacement intra-zone nul.

### *Le temps de rabattement et d'accès à destination*

Le temps de rabattement correspond au temps d'accès nécessaire entre le domicile et la station de bus ou de tramway la plus proche. Le temps d'accès à destination représente le temps d'accès nécessaire entre la station de transport en commun et le lieu de travail. Chacun de ces temps est déterminé en considérant d'une part que le domicile et le lieu de travail sont localisés au niveau des centroïdes de zones. D'autre part, on suppose que la distance linéaire entre les centroïdes et les stations de transport en commun les plus proches est parcourue à pied à une vitesse de 3.5 km/h.

### *Le temps d'attente au départ et aux correspondances*

Le temps d'attente à la station de départ est calculé à partir de la fréquence de la première ligne de TC empruntée. On considère ainsi que l'individu ne connaît pas précisément les horaires de passage du bus/tramway et qu'il arrive donc aléatoirement à la station de départ. Le temps d'attente au départ correspond ainsi à la demi-cadence moyenne de la ligne. Notons que le temps d'attente est calculé de cette manière pour l'ensemble des lignes du réseau quelle que soit leur fréquence et ce, bien que l'on puisse penser que les usagers ont une meilleure connaissance des horaires lorsque les fréquences sont plus faibles. Le temps d'attente en correspondance est égal au temps

d'attente du prochain véhicule. Il est déterminé par rapport aux horaires de passage à l'arrêt.

### *Le temps de marche aux correspondances*

Un temps de marche pour atteindre une correspondance est ajouté au temps d'attente du prochain véhicule. Toutefois, on considère que les arrêts sont localisés à proximité les uns des autres et qu'au maximum le temps de traversée d'une rue, estimé à 10 secondes, est nécessaire pour relier deux arrêts entre eux.

### **II.3.3 Quelle prise en compte des éléments de confort ?**

Le rapport du Commissariat Général du Plan [44] préconise de prendre en compte certains éléments de confort afin de « refléter pleinement les préférences des usagers des transports collectifs ». Kaufmann pose ainsi la question de savoir si ce ne serait pas la qualité comparée du temps de transport plutôt que sa quantité comparée, en matière de critères temporels, qui déterminerait les pratiques modales [100].

Le confort, dans son acception générale, renvoie à tout ce qui contribue au bien-être, à la commodité de la vie matérielle (définition du Petit Robert). Le confort et son antonyme, l'inconfort, présentent la particularité d'être perçus différemment selon les individus, selon les périodes de la journée et les conditions de déplacement qui leur sont inhérentes ainsi que selon les véhicules empruntés (tramway, métro, RER/TER . . .). En dépit de ces caractères subjectifs, valoriser le confort permet d'intégrer dans le coût généralisé, et *in fine* dans les calculs d'accessibilité, les effets liés à l'amélioration et au développement du réseau de transports en commun. Par ce biais ce sont ainsi les temps d'attente au départ et en correspondance des stations de tramway qui s'en trouveront modifiées. Afin de retenir des valeurs pour les paramètres de confort cohérentes, nous nous appuyons sur une série d'études menées tant en France qu'à l'étranger.

### *Les enseignements des études françaises et britanniques*

Derrière l'expression « éléments de confort », le Commissariat Général du Plan sous-entend plus particulièrement les temps d'attente et de marche à pied pour l'accès aux stations et pour les correspondances, ainsi que les

parcours effectués debout ou dans des véhicules très chargés. De ce fait, c'est que ce Jean-Paul Coindet appelle la « décomposition du déplacement » [44], à savoir que les transports en commun ne permettent pas un déplacement porte à porte et nécessitent des temps d'attente et des correspondances, qui « pénalisent » les usagers des transports en commun. Les Britanniques ont publié plusieurs études décomposant les coûts d'un déplacement en transports en commun et valorisant la qualité de service au moyen d'enquêtes de préférences révélées et déclarées. Nous nous basons principalement sur deux études (étude du London Transport reprise in [44], [162]). La qualité de service prend en compte la « composition du déplacement en étapes élémentaires » en affectant chaque temps d'un coefficient de pénibilité propre. Le temps de circulation est pondéré suivant une « fonction linéaire de la charge relative en passagers debout » (on multiplie le temps de trajet entre 1 si assis et 2.5 en situation de pleine charge). Le temps d'attente est, dans ces études, doublé. Toutefois celui-ci peut être encore plus largement valorisé, par exemple en situation d'affluence sur les quais. »<sup>40</sup>. Le temps de marche est pris en compte comme étant un temps d'attente. Toutefois, le temps de montée d'escalier est multiplié par 4 et celui de descente par 2.5. La perception des temps qu'ont les usagers de l'attente aux arrêts a fait l'objet d'études qui mettent en évidence le fait que les usagers ont l'impression d'un temps d'attente plus long qu'il ne l'est en réalité. Ce constat peut être expliqué par le sentiment d'incertitude associée à la durée d'attente du bus. Mishalani *et al.* [132] estiment, à partir d'une étude réalisée auprès d'étudiants sur des arrêts de bus d'un campus américain non équipés de systèmes d'information sur les horaires en temps réel que, lorsque le temps d'attente réel se situe entre 3 et 15 minutes, le temps perçu est le suivant, :

$$p = \beta_0 + \beta_1 a + \epsilon$$

avec :

- $\beta_0$  la constante et  $\beta_0=1.33$
- $\beta_1$  le coefficient du temps d'attente réel et  $\beta_1 = 0.92$
- $a$  le temps d'attente réel

A ce jour, en France peu d'études sur la valorisation des éléments de confort dans les transports en commun ont été menées (un groupe de réflexion

---

<sup>40</sup>Par une fonction quadratique du nombre de personnes debout par m<sup>2</sup>. On a alors  $W = 2 + 0.524 * (\text{densité d'occupation} + 0.5)^2$

mis en place par le STIF n'a, à ce jour pas produit de recommandations officielles). Les données utilisées par la RATP dans son modèle global de trafic constituent toutefois une source intéressante. Jean-Paul Coindet [43] rapporte ainsi que « la RATP utilise des clés de pénalisation des temps composant un déplacement en transport collectif ». La RATP intègre le temps de trajet en lui affectant un coefficient de 1.1 mais seulement pour les bus circulant dans Paris. Le temps d'attente est multiplié par 1.4 ou 2 selon les modes (1.4 pour le fer et 2 pour le bus). Le temps de déplacement incluant la correspondance est calculé selon la formule suivante :

$$TG_c = \lambda T_{pur} + \mu$$

avec :

- $TG_c$  le temps généralisé de correspondance
- $\lambda$  un coefficient multiplicateur et  $\lambda = 1.4$ . Si un bus est intégré dans une correspondance :  $\lambda = 1.5$
- $T_{pur}$  le temps de déplacement réel
- $\mu$  la constante additive et  $5 \text{ min} \leq \mu \leq 6 \text{ min}$

*Le choix des paramètres de pénibilité*

Les études précédemment citées nous fournissent un support intéressant dans l'objectif d'introduire des coefficients de pénibilité pour les déplacements réalisés en transports collectifs. Soulignons toutefois que les résultats de ces études menées sur Londres ou Paris ne peuvent être directement transposés sur l'agglomération strasbourgeoise. Pour tenir compte du contexte local nous retiendrons, dans la suite de notre travail, les valeurs normatives proposées par la Commissariat Général du Plan [44] :

- Temps de rabattement sur le réseau généralisé = temps de transport réel en marche à pied \* 2
- Temps d'attente généralisé = temps d'attente réel \* 2
- Temps de déplacement généralisé = temps de déplacement réel<sup>41</sup>
- Temps de marche à pied généralisé entre correspondances = temps de marche à pied réel \* 2

---

<sup>41</sup>Le rapport Boiteux préconise de multiplier le temps de transport en TC en situation de congestion par un coefficient 1.5. Toutefois, dans notre cas, la situation de congestion est déjà intégrée au travers des vitesses des véhicules.

- Temps d'attente généralisé entre correspondances = temps d'attente réel entre correspondances \* 2
- Temps d'accès généralisé à destination depuis le réseau<sup>42</sup> = temps de transport réel en marche à pied \* 2
- Pas de supplément temporel lié au nombre de ruptures de charges

Dès lors, en considérant les paramètres suivants, le temps de déplacement perçu par l'utilisateur peut s'écrire :

$$T_{ij} = (TEV + 2TR + 2TAX + 2TMaP + 2TAD + 2TAC)$$

Le temps de déplacement en transports en commun présente la particularité d'être scindé en de multiples étapes. Au-delà des temps d'accès au réseau et trajets terminaux, il faut considérer les temps d'attente au départ et en correspondance qui pénalisent l'utilisateur désireux de minimiser son temps de déplacement. Le temps de déplacement « réel » (celui de l'horloge) n'est pas toujours perçu comme tel par l'utilisateur. Ainsi les temps d'attente, de correspondance, sont ressentis comme pénibles pour les usagers et un coefficient de pondération est de fait appliqué aux composantes du déplacement qui ne sont pas véritablement du temps de transport « en véhicule ».

\*  
\* \*

Dans cette section consacrée au calcul du temps de transport, nous abordons en réalité deux problématiques. L'une très concrète consiste à déterminer et à calculer le temps de transport pour chacun des modes étudiés. Il convient, pour ce faire, d'analyser les déplacements en considérant l'ensemble des « sous-déplacements » qui les composent. Pour les déplacements automobiles, au-delà du temps en véhicule (fondé sur des hypothèses et calculs explicités dans le chapitre précédent) et des temps d'accès au réseau et de trajet terminaux (qui ne font pas l'objet de véritables débats) nous nous intéressons principalement au calcul du temps consacré à la recherche d'une place de stationnement. Celui-ci est estimé, à partir des trafics réels et de résultats d'enquêtes, à 10 minutes environ pour les zones centrales. Pour les

---

<sup>42</sup>Le rapport Boiteux ne préconise pas directement de pondérer le temps d'accès à destination mais comme il préconise le temps d'accès au réseau, nous considérons de façon symétrique que le temps de marche pour atteindre la destination finale doit être lui aussi valorisé.

autres zones ce temps est nul. Ainsi, à l'exception des zones centrales, les déplacements des automobilistes sont principalement constitués d'un temps en véhicule. Il n'en va pas de même pour les usagers des transports en commun pour qui, au temps d'accès au réseau et au trajet terminal s'ajoutent les ruptures de charges et le temps d'attentes possible au départ et aux correspondances. Se pose alors la seconde problématique de notre section sur la valorisation du confort et du temps passé dans les transports. Suivant les recommandations applicables pour l'évaluation économique des projets de transport, nous pondérons les temps d'attente aux arrêts de bus et de tramway, ainsi que les temps d'accès au réseau et de trajets terminaux, d'un coefficient de pénibilité. En revanche, toujours en nous référant aux mêmes recommandations, une minute passée dans les transport est valorisée identiquement quel que soit le mode emprunté. Cette section nous a ainsi permis de déterminer le coût temporel. Ce dernier ne constitue toutefois qu'un élément du coût généralisé d'un déplacement. Attachons-nous dès lors à la détermination du coût monétaire d'un déplacement.

### **III De la distance de déplacement au coût monétaire**

De façon symétrique à la section précédente qui avait pour objet de déterminer pour chaque mode le coût temporel à partir du temps consacré à chaque composante du déplacement, cette section envisage le calcul du coût monétaire des déplacements en voiture particulière et en transports en commun.

#### **III.1 Le coût monétaire d'un déplacement automobile**

Cette sous-section présente les éléments traditionnellement intégrés dans le calcul du coût monétaire d'un déplacement.

##### **III.1.1 Les éléments liés à la possession et l'utilisation d'une automobile**

Le coût monétaire d'un déplacement automobile se décompose en deux grands types de coûts que sont les coûts fixes et les coûts variables. Les premiers, liés à la possession d'une voiture, concernent principalement les

dépenses d'achats, d'assurance, de garage et de frais financiers ainsi que de vignette pour 1993. Les coûts fixes sont invariants quel que soit le nombre de kilomètres parcourus. Les seconds, les coûts variables, dépendent de la distance parcourue. Ils concernent l'usage de la voiture et intègrent le carburant et l'entretien du véhicule. Ces différents postes de dépenses ainsi que leur montant sont récapitulés dans le tableau 12. Les données proviennent des données du *Budget de l'automobiliste* établi par l'Automobile Club [8], pour 2005 et du *Bilan des 10 ans du budget annuel de l'automobiliste français*, pour 1993 [7].

	Dépenses annuelles par poste en 2005 (en euros 2005)	Dépenses annuelles par poste en 1993 (en euros 2005)
Achat moins reprise	2557	1944
Frais financiers	247	729
Assurances	633	552
Carburant	1140	1031
Entretien	1229	623
Garage	489	399
Vignette	0	88
<b>Coût Total</b>	<b>6295</b>	<b>5178</b>
Nombre de km par an	16860	14637
<b>Coût moyen €/km</b>	<b>0.38</b>	<b>0.37</b>
<b>Coût marginal €/km</b>	<b>0.14</b>	<b>0.11</b>

TAB. 12 – Postes de dépense d'un automobiliste

On observe un accroissement du coût total sur la période 1993-2005 de plus de 21 % essentiellement dû à une augmentation des coûts variables (+43% sur la période) et notamment des dépenses d'entretien. L'augmentation du nombre de kilomètres parcourus par an atténue l'accroissement du coût total sur le coût moyen par kilomètre. Le coût marginal, calculé en divisant les dépenses d'entretien et de carburant par le kilométrage est, en revanche, plus fortement touché par la hausse des coûts variables et s'accroît de près de 30% en 12 ans. Pour la suite de notre travail, nous retiendrons au cours de nos calculs le coût moyen par kilomètre soit 0.37 € pour 1993 et 0.38 € pour 2005.

Ce coût moyen pondère ainsi une distance de déplacement correspondant au parcours présentant le temps de déplacement minimal entre deux zones.

### III.1.2 Les coûts de stationnement

Tout comme une « pénalisation temporelle » est appliquée aux usagers qui cherchent à stationner leur véhicule dans le centre-ville de Strasbourg, un coût monétaire reflétant le coût du stationnement est soumis à ces mêmes usagers. Le coût du stationnement est déterminé à partir du tarif horaire, variant selon les types de stationnement et les quartiers, fourni par la société Parcus. Sachant que nous nous intéressons dans notre travail uniquement aux déplacements domicile-travail, nous posons deux hypothèses :

- Les véhicules restent stationnés six heures au même emplacement.
- 14% des actifs travaillant dans la zone concernée par le stationnement payant bénéficient d'un emplacement de parking réservé.

La figure 15 présente les zones de stationnement payant et le coût de stationnement pour un déplacement pour le motif travail à destination.

#### Cartographie du coût du stationnement sur voirie

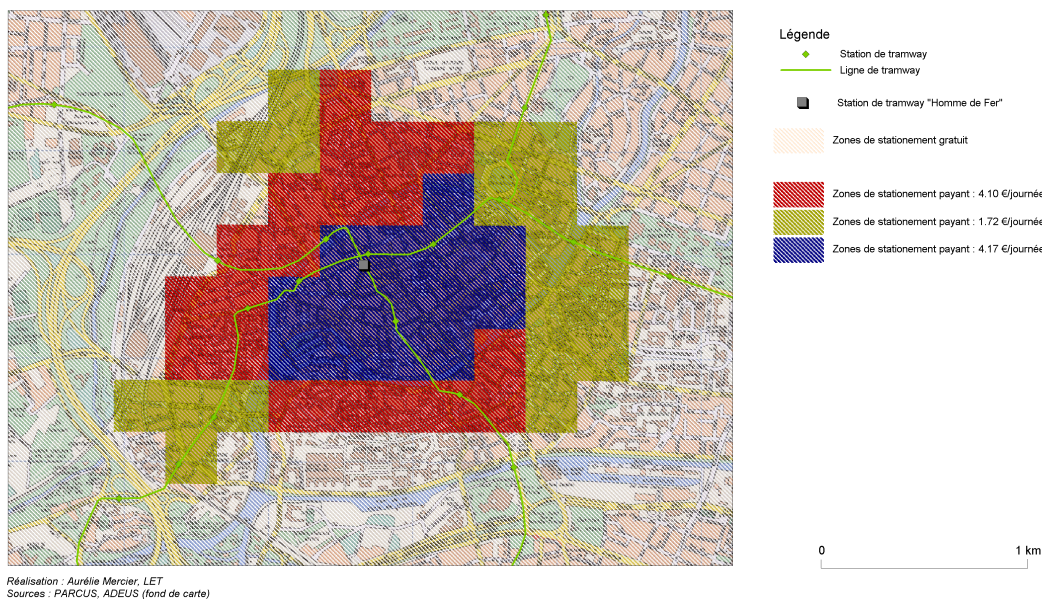


FIG. 15 – Cartographie du coût de stationnement sur voirie



Les coûts présentés dans cette sous-section reflètent les dépenses à proprement parlé liées à l'automobile et à son stationnement en centre-ville. Ils n'intègrent pas directement d'éventuelles taxes environnementales et ce bien que le poste achat puisse refléter (pour 2005) les innovations visant à limiter l'émission de particules polluantes par les véhicules et ainsi le coût supporté par l'utilisateur dans une optique de réduction du niveau de pollution.

### III.2 Le coût monétaire d'un déplacement en transport en commun

Si le calcul du coût temporel d'un déplacement en transport en commun est plus complexe que celui d'un déplacement automobile, la détermination du coût monétaire est en revanche plus simple. Le coût monétaire d'un déplacement en transport en commun se compose du prix d'achat du titre de transport lorsque le titre est valable une seule fois. Dans le cadre d'un abonnement, le coût du déplacement est égal au ratio prix de l'abonnement sur nombre de déplacements. Afin de déterminer le coût monétaire d'un déplacement pour un actif résidant et travaillant dans les communes de Strasbourg ou d'Illkirch-Graffenstaden, nous posons les hypothèses suivantes :

- Un actif est âgé de plus de 18 ans et de moins de 65 ans.
- Un actif bénéficie de revenus supérieurs ou égaux au SMIC.
- Un actif effectue environ 40 déplacements par mois dont le travail constitue le motif origine ou destination du déplacement<sup>43</sup>.

La Compagnie des Transports Strasbourgeois propose une large gamme d'abonnements et de titres de transport. Parmi ceux-ci, seuls certains titres sont proposés aux actifs (cf. tableau 13)

Selon la CTS, 75% des usagers des transports en commun strasbourgeois possèdent un abonnement. Nous pouvons dès lors supposer que le taux d'abonnés est sensiblement la même chez les actifs utilisant les TC dans le cadre de déplacements domicile-travail ou travail-domicile et que les actifs non abonnés achètent leur titre de transport à l'unité. La part des actifs

---

<sup>43</sup>On suppose qu'un individu travaille 230 jours par an, soit 20 jours par mois et qu'il effectue au minimum 2 déplacements quotidiens pour se rendre et/ou quitter son lieu de travail.

Titre ou Abonnement	Prix du déplacement <sup>44</sup> en 1993 (en euros 2005)	Prix du déplacement en 2005 (en euros 2005)
Abonnement mensuel pour tous	0.89 €	1 €
Carnet de 5 tickets	0.97 €	Sans objet
Carnet de 10 tickets	Sans objet	1.08 €
Ticket unité	1.27 €	1.30 €

TAB. 13 – Tarification des titres de transports accessibles aux actifs

utilisant les TC dans le cadre de déplacements domicile-travail ou travail-domicile sans être abonnée (25%) peut sembler surestimée. Toutefois, Lainez [112] met en évidence, sur l'agglomération lyonnaise, l'existence d'un groupe d'utilisateurs de tickets unités qualifiés de « réguliers ». Ce sont des individus captifs des transports en commun, les utilisant beaucoup, pour des déplacements contraints. Leur revenus sont plutôt faibles. Sous ces hypothèses, le prix moyen d'un déplacement en transports en commun pour un actif est de 0.89€ en 1993 et de 1.07€ en 2005. Notons que ce prix par déplacement est supérieur (pour 2005) au ratio recettes/déplacements, fourni par la CTS, qui est égal à 0.76€ [46]. Les données pour 1993 ne nous sont pas communiquées.

\*  
\* \*

A l'issue de cette section, nous sommes en mesure de déterminer le coût généralisé d'un déplacement en voiture particulière et en transport en commun. Pour chacun des modes, la détermination du coût généralisé est soumise à de nombreuses hypothèses tant sur la valeur du temps, la prise en compte du confort (pour les transports en commun) et le temps de recherche d'une place de stationnement (pour les automobilistes) que sur le coût monétaire de chaque composante du déplacement. Le coût généralisé est la somme du temps de déplacement généralisé et du coût monétaire.

Le coût généralisé d'un déplacement en voiture particulière s'écrit de la façon suivante :

$$CG_{ij} = CM + CTCTG_{ij} = CM + [(TEV + ast_L(t)) * VdT]$$

Le coût généralisé d'un déplacement en transports en commun prend la forme suivante :

$$CG_{ij} = CM + CTCTG_{ij} = CM + (TEV + 2TR + 2TAX + 2TMaP + 2TAD + 2TAC) * VdT$$

Le coût généralisé constitue l'élément résistant du déplacement qui freine d'autant plus les individus à se déplacer que ces derniers sont sensibles à la « portée » de leurs déplacements.

## IV L'évaluation de la sensibilité des individus au coût généralisé

La formule de l'accessibilité gravitaire pondère le coût généralisé par un paramètre de sensibilité (également défini comme un coefficient de conductance) que nous appellerons le paramètre *beta*. Ce dernier correspond à la propension des individus à supporter un coût de déplacement plus ou moins élevé [55]. En d'autres termes, il représente le plus ou moins grande résistance au coût du déplacement. Après avoir envisagé le calcul de ce paramètre, nous soulignerons la variabilité de ce paramètre.

### IV.1 La détermination du paramètre *beta*

La valeur du paramètre  $\beta$  s'obtient par le calage du modèle gravitaire à partir des comportements observés sur l'aire d'étude considérée. L'étape de calage intervient en amont du calcul de la distribution des déplacements au cours du modèle à quatre étapes. Elle est détaillée chapitre 3. Nous utilisons une fonction combinée<sup>45</sup> pour réaliser l'étape de distribution dans la mesure où d'une part cette fonction « colle » le mieux à la réalité et ou, d'autre part, elle peut être ramenée à un modèle logit lorsque  $b = 0$ . Pour calculer l'accessibilité gravitaire, nous déterminons le paramètre  $\beta$  à partir d'une fonction logit<sup>46</sup> et non combinée. En d'autres termes, nous posons l'hypothèse que la fonction combinée présente un paramètre  $b = 0$ . Ce choix s'explique tout d'abord par le fait que la formule de l'accessibilité gravitaire présente une forme de type logit et également dans un souci de comparaison avec les résultats obtenus sur d'autres aires d'étude (présentés dans la sous-section IV). Précisons que la réalisation d'un modèle à quatre étapes pour déterminer les vitesses sur les tronçons routiers est totalement indépendante de la détermination du paramètre de sensibilité au coût et que le choix de fonctions

---

<sup>45</sup>  $f(U) = aU^b e^{cU}$

<sup>46</sup>  $f(U) = e^{cU}$

Motifs	Valeurs estimées du paramètre Beta
Domicile - Travail	0.19
Domicile - Autre	0.16
Travail/Autre - Autre	0.17
Travail/Autre - Domicile	0.17
Travail/Autre - Travail	0.18

TAB. 14 – Estimation des valeurs du paramètre Beta par motifs

différentes n’affecte pas la qualité des valeurs obtenues pour le paramètre *beta*.

Les valeurs du paramètre de sensibilité, en fonction des motifs de déplacement, sont répertoriées dans le tableau 14. Les valeurs prises par le paramètre *beta* varient en fonction des motifs de déplacement. Nos résultats montrent ainsi que les individus sont plus sensibles au coût du déplacement pour se rendre sur leur lieu de travail que pour d’autres motifs et ce, même si l’écart entre les valeurs du paramètre reste faible. Ces résultats peuvent s’expliquer sans doute par le périmètre d’étude à partir duquel ont été calculés ces coefficients, à savoir le périmètre de l’Enquête Ménages Déplacements de 1997 qui s’étend sur 111 communes. Les individus semblent réticents à parcourir de longues distances pour rejoindre un emploi qu’ils pourraient trouver à proximité de leur domicile (nous ne différencions pas les types d’emplois, qu’ils soient qualifiés ou non). Toutefois, la valeur du paramètre *beta* ne dépend pas uniquement des motifs de déplacement mais plus généralement des caractéristiques socioéconomiques et des dimensions spatio-temporelles.

## IV.2 L’impact des caractéristiques socioéconomiques et des dimensions spatio-temporelles sur le paramètre de sensibilité

La littérature recense divers articles ou études abordant la question de la détermination du paramètre *beta* dans différents contextes. Fröhlich et Axhaussen [73] soulignent que le paramètre change en fonction des localisations, de la part du coût du transport dans le budget des individus. Ainsi, Andersson et Karlsson à partir de travaux de Johannsson *et al.* [5] présentent dans le cadre de calculs d’accessibilité, en Suède, un paramètre variant de 0.02 à

0.1 selon que l'on considère une échelle intra-municipale ou intra-régionale et supposent que les individus sont réticents à se déplacer au-delà d'un périmètre qu'ils pratiquent quotidiennement et donc qu'ils maîtrisent. De la même façon, Johannsson *et al.* [98] soulignent l'impact du sexe et du niveau d'étude sur la sensibilité à la distance temporelle de déplacement pour accéder à l'emploi. A niveau d'éducation égal, les hommes sont plus enclins à effectuer de longs déplacements pour aller travailler que les femmes. Pour donner un exemple, le paramètre  $\beta$  estimé pour un « homme à niveau d'éducation moyen » est identique à celui d'une « femme à niveau d'éducation élevé », soit  $\beta = 0.15$ . En estimant les paramètres de sensibilité à partir de trois EMD réalisées sur Lyon (EMD 76, EMD 86 et EMD 95), Masson [121] montre que les individus acceptent de consacrer plus de temps au déplacement. En 20 ans, le paramètre associé aux déplacements domicile-travail est passé de 0.36 à 0.14 et rend ainsi compte « de l'aptitude des individus à maîtriser un espace aux fonctions de plus en plus éclatées sur des territoires plus vastes ».

\*  
\* \*

Les individus perçoivent différemment les coût de déplacements. Certains individus sont peu sensibles à la distance temporelle et acceptent des temps de déplacement élevés. A l'inverse, d'autres se révèlent plus réticents à augmenter leur temps de parcours. Cette sensibilité se traduit, dans le calcul de l'accessibilité, par la valeur affectée à un paramètre *beta* pondérant le coût généralisé. Cette valeur est déterminée par calage du modèle gravitaire. Elle peut être estimée pour une population totale et pour l'ensemble des déplacements ou bien pour des sous-populations et/ou des types de déplacements différents. Notre travail portant sur l'accessibilité aux emplois, nous avons désagrégé les déplacements suivant leur motif et retenons une valeur de 0.19 correspondant à celle du motif domicile-travail. Il convient de garder à l'esprit que cette valeur est « standard » et qu'elle synthétise nécessairement une variété de comportements déterminés notamment par les caractéristiques socioéconomiques des individus.

## V La sensibilité des résultats aux paramètres d'entrée

Cette section présente différents tests mis en place afin d'évaluer la sensibilité des résultats d'accessibilité aux paramètres de confort, de perception du temps et de coût monétaire. Nous testons également l'impact du paramètre *beta* sur le niveau d'accessibilité. Avant de développer ces tests, nous présentons notre démarche.

### V.1 Pourquoi et comment réaliser des tests de sensibilité ?

Comme nous venons de le voir, déterminer la perception qu'ont les usagers de la valeur du temps passé au cours des différentes phases du déplacement, des conditions de confort ou, plus généralement, du coût généralisé constitue une étape délicate. Plusieurs études et modèles destinés à évaluer ces paramètres concluent à des résultats très variables selon le pays considéré, la taille de l'agglomération, le type de population . . . . Pour éviter d'intégrer des valeurs non cohérentes avec les caractéristiques de notre travail, nous optons pour les valeurs tutélaires proposées par le rapport du Plan [44] pour la valeur du temps et les paramètres de confort. Le paramètre *beta* est pour sa part déterminé à partir du calage d'un modèle gravitaire de distribution des déplacements. Il nous semble toutefois intéressant de confronter les valeurs intégrées à celles provenant d'autres études de cas et de tester des paramètres alternatifs à ceux retenus.

La réalisation de tests de sensibilité permet en outre de repérer les paramètres qui influent le plus sur les résultats et ceux dont la valeur aura un impact plus faible. La forme des fonctions de temps perçu, de coût généralisé et d'accessibilité intervient également.

Les tests sont réalisés, dans le cadre d'une accessibilité aux emplois en transports en commun, à partir du réseau « version 2005 » sur un échantillon de 11 zones de 500 m<sup>2</sup> localisées dans le périmètre du centre-ville de Strasbourg.

## V.2 Présentation des tests et résultats

### V.2.1 Test des paramètres de pénibilité appliqués pour les déplacements en transports en commun

Ce premier test permet d'évaluer la sensibilité des résultats à la variation des paramètres de pénibilité (temps d'attente et temps de marche à pied) introduits dans le calcul du temps de déplacement. Nous examinons quatre variantes à l'option choisie :

- **Situation de référence** : les paramètres de confort sont des valeurs standards (détaillées dans la sous-section II.3.3) de même que la valeur du temps (sous-section II.1.2) et le coût monétaire (section III.2).
- **Variante n° 1** : pas de valorisation du manque de confort. Tous les paramètres de confort sont plafonnés à l'unité. La valeur du temps et le coût monétaire restent identiques à la situation de référence.

Les trois variantes suivantes envisagent une valorisation différenciée du temps d'attente et du temps de marche.

- **Variante n° 2** : valorisation du temps d'attente mais pas de la marche. Les études sur la prise en compte du confort valorisent le temps d'attente perçu à deux fois le temps d'attente réel. Nous conservons dès lors cette valeur de 2 mais nous ne valorisons pas les temps de marche à pied (coefficient de 1). La valeur du temps et le coût monétaire restent identiques à la situation de référence.

Les **variantes 3 et 4** valorisent le temps de marche à pied mais pas le temps d'attente. Lorsque le temps réel n'est pas dissocié du temps perçu, 1 minute « réelle » de marche correspond à 1 minute de marche « perçue ». La valeur du temps implicite est donc (sur la base des valeurs tutélaires) de 0.2 €/minute. Lorsque l'on applique un coefficient de pénibilité de 2 alors 1 minute « réelle » de marche correspond à 2 minutes de marche « perçues ». La valeur du temps implicite est donc (sur la base des valeurs tutélaires) de 0.4€/minute. Pour avoir un ordre d'idée, la valeur du temps pour un usager du train 1ère classe en interurbain (avec une distance supérieure à 400 km) est de 0.6 €/minute. A partir de ce constat, nous envisageons deux situations :

- **Variante n° 3** : on valorise le temps de marche à deux fois le temps réel comme en situation de référence

	Temps généralisé	Niveau d'accessibilité
Situation de référence	100	100
Variante n° 1 (tous les paramètres égaux à 1)	60	133
Variante n° 2 (valorisation du temps d'attente seulement)	65	128
Variante n° 3 (valorisation du temps de marche seulement)	89	107
Variante n° 4 (pondration par 3 du temps de marche)	114	91

TAB. 15 – Résultats des tests des paramètres de confort (Base 100 : situation de référence)

- **Variante n° 4** : si l'on considère maintenant une valeur du temps de la marche identique à celle de l'utilisateur du train 1ère classe (c'est-à-dire 36.3€ de l'heure), cela revient à pondérer le temps de marche par 3. Dans les variantes 3 et 4, les temps d'attente (au départ et en correspondance) sont pondérés par 1. La valeur du temps et le coût monétaire restent identiques à la situation de référence.

Les résultats de ce premier test sont détaillés dans le tableau 15. Nous observons que la valorisation du confort pèse fortement dans le temps généralisé. Sur notre échantillon de quelques zones localisées en centre-ville (c'est-à-dire d'une part, traversées par des lignes de transports en commun présentant une fréquence élevée et d'autre part présentant un temps d'accès au réseau relativement faible par rapport aux autres zones), l'absence de valorisation du manque de confort entraîne une hausse de 33 points de l'indice d'accessibilité (par rapport à la situation de référence). Du temps d'attente et du temps de marche à pied (pour accéder au réseau ou accéder depuis le réseau à la destination finale), c'est le second paramètre qui influence le plus le niveau d'accessibilité (sur notre échantillon tout au moins). En effet, si on valorise le temps d'attente et pas la marche, l'indice d'accessibilité s'élève à 128 contre 107 si on valorise seulement la marche. Dans notre échantillon, le temps d'attente est faible du fait de la fréquence élevée des lignes. Dès lors, ne pénaliser que le temps d'attente et non la marche joue peu sur le niveau d'accessibilité. On passe d'un indice d'accessibilité de 133 correspondant à



aucune pénalité, à un indice de 128 si on ne pénalise que le temps d'attente et à un indice de 107 si on ne pénalise que le temps de marche à pied. Intéressons nous maintenant au niveau de pénalisation de la marche à pied. On constate que pondérer le temps de marche par 3 (ce qui correspond à une valorisation élevée du temps de marche) génère un indice d'accessibilité de 91 alors que le même indice est de 107 lorsque le temps de marche est pondéré par 2.

### V.2.2 Test sur la valeur du temps et le niveau de tarifs

Nous associons les deux tests sur la valeur du temps et le niveau de tarif. En effet, les deux variables de coût monétaire et valeur du temps n'impactent pas le temps perçu mais agissent directement sur le coût généralisé. La fonction de coût généralisé étant linéaire définie sur l'intervalle  $[1, +\infty[$ , le coût monétaire représente l'ordonnée à l'origine et la valeur du temps le coefficient directeur. Afin de tester l'impact de la valeur du temps et du niveau de tarif sur le temps généralisé, nous examinons quatre variantes à l'option choisie (la situation de référence). Tandis que la variante 1 illustre l'impact d'une hausse proportionnelle des deux variables, les variantes 2, 3 et 4 nous permettent d'envisager l'arbitrage coût/valeur du temps :

- **Situation de référence** : la valeur du temps correspond à celle retenue dans l'instruction cadre de 2004, soit 12 €/h (euros 2005). Le tarif est celui envisagé dans la section III.2, soit 1.07 €. Les paramètres pondérant les éléments de confort sont ceux déterminés sous-section II.3.3. Il seront identiques dans toutes les variantes.
- **Variante n° 1** : on envisage un accroissement de 50% du tarif et de la valeur du temps. On suppose en effet qu'un individu ayant une valeur du temps accrue de 50% sera disposé à payer son déplacement 50% plus cher. Avec cette variante, le tarif est donc porté à 1.6 € et la valeur du temps à 18 €/h.
- **Variante n° 2** : on considère un coût monétaire identique à la situation de référence (1.07 €) mais une valeur du temps de 21.6 €/h (proche de la valeur du temps tutélaire pour les usagers du Fer classe 1 en interurbain).
- **Variante n° 3** : on suppose que le tarif de 1.07€ est sur-estimé et que le coût monétaire par déplacement en transports en commun réellement supporté par un usager est de 0.535€. La valeur du temps reste identique à la situation de référence.

- **Variante n° 4** : on suppose que la valeur du temps est sur-estimée. On considère alors une valeur du temps de 5.4€/h. Le tarif reste à 1.07€.

Les résultats de ce test sont présentés par la figure 16.

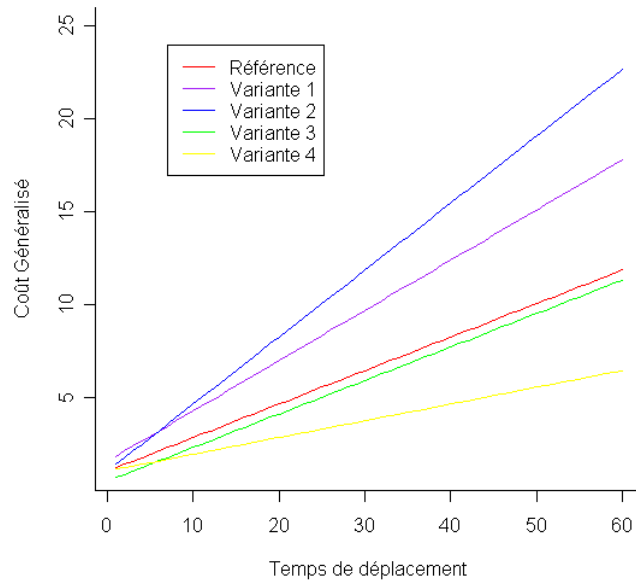


FIG. 16 – Sensibilité de la valeur du temps et du tarif sur le coût généralisé

Ce graphique nous enseigne que la valeur du temps influence fortement le coût généralisé, en particulier lorsque le temps perçu est supérieur à 10 minutes. La comparaison entre la situation initiale et la variante n° 1 (soit entre les droites rouge et violette) illustre, en raison de la forme linéaire de la fonction, qu'accroître d'un même taux la valeur du temps et le tarif entraîne une hausse plus que proportionnelle du coût généralisé. En effet, si le prix du ticket est unique, le coût temporel augmente avec la distance parcourue.

Attachons nous maintenant à l'évolution de la valeur du temps (comparaison entre les variantes 2 et 4 avec la situation de référence). L'impact de la valeur du temps dans le coût généralisé est croissant en fonction du temps de

déplacement perçu. Pour un temps de déplacement de 20 minutes, un doublement de la valeur du temps entraîne un doublement du coût généralisé tandis que pour un déplacement de 10 minutes, le coût généralisé augmente de 60%.

La variante 3 souligne que, le tarif ne dépendant pas du temps de transport, la part du coût monétaire dans le coût généralisé total décroît lorsque le temps de déplacement augmente. Il faut ainsi retenir que pour des déplacements inférieurs à 15 minutes, l'arbitrage entre les valeurs du temps et du tarif impacte le coût généralisé. Toutefois, plus on a des temps de déplacement élevés, plus la variable valeur du temps impacte le coût.

### V.2.3 Impact du paramètre Beta sur le niveau d'accessibilité

Ainsi que nous l'avons présenté dans la section IV, le paramètre  $\beta$  pondère le coût généralisé en reflétant la perception qu'en ont les usagers. Il peut alors prendre des valeurs différentes selon les individus ou les motifs de déplacement. Nous lui affectons la valeur de 0,19 tout en gardant à l'esprit qu'elle n'est qu'une valeur synthétique et, de ce fait, testons d'autres valeurs de ce paramètre. Les valeurs testées se situent dans l'intervalle  $[0,03 - 0,45]$  en référence à Kwan [107]. Le tableau 16 montre dans quelle mesure, pour un coût réel (de 25) et un nombre d'opportunités (de 9999), la valeur du paramètre  $\beta$  modifie le niveau d'accessibilité. Plus le paramètre  $\beta$  prend une valeur élevée, plus le coût de déplacement pondéré ( $\beta * C_{ij}$ ) augmente et plus le niveau d'accessibilité diminue. En raison de la fonction exponentielle négative, passer de  $\beta = 0,03$  à  $\beta = 0,45$  a pour conséquence une baisse de 99 points de l'indice d'accessibilité.

\*  
\* \*

La réalisation de tests de sensibilité a pour objectif d'envisager l'impact de différents paramètres, intégrés dans le calcul du coût généralisé, sur le coût généralisé et plus généralement le niveau d'accessibilité, dans le cadre de déplacements en transports en commun. Ainsi, un premier test nous a permis d'observer à partir de notre échantillon qu'une valorisation du temps de marche à pied à 2 fois le temps réel avait une plus grande influence sur le niveau d'accessibilité qu'une valorisation du temps d'attente à 2 fois le temps réel. Un second test a été réalisé pour envisager l'impact de la valeur du temps

Beta	$\beta * C_{ij}$	Accessibilité
0.030	0.47	4723
0.050	0.29	2865
0.100	0.08	821
0.120	0.05	498
0.150	0.02	235
0.190	0.01	86
0.220	0.05	41
0.300	0.001	5
0.450	0.000	0.1

TAB. 16 – Impact du paramètre Beta sur le niveau d’accessibilité

et du tarif sur le coût généralisé. Du fait du prix unique du ticket de bus, quel que soit le temps de déplacement, le coût généralisé est, dans le cadre de trajets inférieurs à 15 minutes, fortement impacté par le coût monétaire du voyage tandis que le niveau de valorisation du temps joue un rôle moins déterminant. Un troisième test qui envisage l’impact du paramètre *beta* sur la fonction de résistance souligne l’importance de ce paramètre dans la détermination du niveau d’accessibilité. Plus les individus sont prêts à supporter un coût élevé pour se déplacer, plus la valeur du paramètre *beta* est faible et meilleure est l’accessibilité.

## VI Conclusion du chapitre 4

La conclusion de ce cinquième chapitre pourrait s’intituler « Vers la mesure de l’accessibilité. . . ». En effet, au cours de ce chapitre nous avons abordé les différentes étapes qui, à partir du SIG précédemment mis en place, nous permettent de mesurer l’accessibilité. Le « cœur » du calcul réside dans la détermination du coût généralisé défini comme la somme du coût monétaire et du coût temporel d’un déplacement. A partir des temps de transport établis selon la méthode du plus court chemin, nous avons déterminé le coût temporel des déplacements en voiture particulière et en transports en commun en considérant leurs différentes composantes. Un déplacement automobile se décompose en quatre grandes étapes que sont chronologiquement le temps d’accès au réseau, le temps en véhicule, le temps de recherche d’une place de stationnement et le temps de trajet terminal. Le temps consacré au trois pre-

mières étapes est directement calculé par le SIG contrairement au temps de recherche d'une place de stationnement. Ce dernier est envisagé uniquement pour les déplacements à destination des zones centrales. Un déplacement en transports en commun impose, au-delà des temps d'accès au réseau et de trajets terminaux, des ruptures de charge qui pénalisent l'utilisateur. Pour intégrer ces éléments d'inconfort, des malus ont été appliqués pour l'ensemble des sous-déplacements qui sont effectués à pied. L'évaluation du temps de transport associé à chaque composante de déplacement (en voiture particulière ou en transports en commun) pose la question de la valorisation de ce temps de transport. Conformément aux recommandations qui prévalent pour l'évaluation économique des infrastructures de transport en milieu urbain, nous optons pour une valeur du temps identique pour les deux modes considérés.

Le coût monétaire constitue la seconde variable du coût généralisé. Il dépend pour les déplacements automobiles de la distance de déplacement (déterminée à l'aide du SIG), qu'il pondère par un coût monétaire moyen de possession et d'utilisation d'une automobile, et du coût de stationnement (pour les zones centrales). Le coût monétaire d'un déplacement en transports en commun fait, lui, référence à un prix unique quelle que soit la distance parcourue.

Le coût généralisé ainsi déterminé est un coût réel qui est imposé aux usagers. La sensibilité des usagers face à ce coût est déterminée au travers d'un paramètre *beta* pondérant ce coût généralisé. Nous désagrégeons les déplacements par motifs et envisageons une sensibilité unique pour l'ensemble des individus se déplaçant pour le motif domicile-travail.

Le calcul du coût généralisé et sa pondération par un paramètre de sensibilité a nécessité au préalable de poser de nombreuses hypothèses. Par définition, certaines hypothèses peuvent paraître grossières, d'autres réductrices. Nous avons, de ce fait, testé la sensibilité des résultats à plusieurs variables du coût généralisé.

Le coût généralisé pondéré par un paramètre de sensibilité constitue l'élément de résistance d'un déplacement. L'utilisateur ne consent au coût de déplacement que si ce déplacement lui procure une satisfaction supérieure au coût. Face à l'élément résistant, se trouve un élément moteur du déplacement représenté dans notre étude par le nombre d'emplois auquel peut accéder un

## *CHAPITRE 4*

---

usager. Le calcul du nombre d'emplois est directement issu du SIG. Présenté chapitre 3, il n'a pas fait l'objet d'une section au cours de ce chapitre.

A la fin de ce chapitre, nous disposons de l'ensemble des éléments nécessaires pour déterminer le niveau d'accessibilité de chaque zone. Il convient, dès lors, de mettre en oeuvre les mesures d'accessibilité et d'en analyser les résultats.

## Conclusion de la partie II

Cette deuxième partie est envisagée comme un diptyque illustrant « étape par étape » la mesure de l'accessibilité aux emplois sur l'aire d'étude de Strasbourg.

La première étape de réalisation du SIG vise à construire les différentes couches du SIG et permettre ainsi de « superposer » les différents réseaux de transports (réseau routier et réseaux de transports en commun en 1993 et 2005) et la localisation des activités sur notre territoire d'étude strasbourgeois. L'écueil majeur rencontré au cours de ce travail concerne la nécessaire « reconstitution de la donne ». Si la structure du réseau est connue, les vitesses réellement pratiquées tant par les automobilistes que les usagers des transports en commun (en 1993) ne le sont pas. Dès lors, pour déterminer les vitesses automobiles, un « modèle à quatre étapes » a été mis en place. Tandis que la vocation première d'un tel modèle est de prévoir la demande de transport, nous l'avons d'une certaine manière détourné en l'utilisant de façon rétroactive pour estimer la vitesse sur chacun des tronçons à partir du niveau de trafic estimé et de la capacité de voies routières. La reconstitution des vitesses en bus sur le réseau dans sa version 1993 a été opérée à partir des données dont nous disposions pour 2005 en tenant compte des modifications du réseau et de l'évolution des véhicules utilisés. Cette nécessaire « reconstitution de la donne » présente, par définition, des imprécisions mais reste le seul moyen de retranscrire rétroactivement les conditions réelles de déplacement pour les deux modes considérés et d'envisager le calcul de l'accessibilité gravitaire.

Le calcul du temps de transport, et plus généralement du coût généralisé du déplacement, constitue l'une des étapes principales pour mesurer l'accessibilité. Au-delà du temps de transport en véhicule, il faut ajouter notamment les temps d'accès au réseau ou d'attente pour les usagers des transports en commun ou bien le temps de recherche d'une place de stationnement pour les automobilistes. L'ensemble de ces composantes temporelles sont alors valorisées pour les traduire en équivalent monétaire. Le coût temporel se double d'un coût monétaire dépendant de la distance de déplacement pour les automobilistes et forfaitaire pour les usagers des transports en commun. Le coût

## *CONCLUSION DE LA PARTIE II*

---

généralisé, correspondant à la somme du coût temporel et monétaire, est alors pondéré par un paramètre correspondant à la sensibilité des usagers à ce coût. Le coût généralisé ainsi pondéré constitue l'élément « résistant » du déplacement. Il se double d'un élément « moteur », correspondant au nombre d'emplois pouvant être atteints. Le produit des éléments moteur et résistant se définit comme le niveau d'accessibilité gravitaire.

Le SIG-T constitue un outil performant pour envisager des calculs d'accessibilité. De par les fonctionnalités qu'il offre (calcul et optimisation des temps de parcours notamment) et le volume des bases de données qu'il traite, il nous permet ainsi de déterminer l'accessibilité à une échelle très fine en tenant compte des multiples possibilités offertes par le(s) réseau(x) de transport, de la qualité de service et de la localisation des opportunités. La richesse d'un tel outil permet ainsi de le mobiliser dans le cadre d'analyses spatiales et plus particulièrement dans l'évaluation de politiques de transport ou de scénarios prospectifs.



## Troisième partie

# De la mesure de l'accessibilité à l'évaluation des politiques de transport

## Introduction de la partie III

« Les politiques se définissent par les objectifs qu'elles cherchent à atteindre et par les instruments qu'elles mettent en œuvre » [56]. Les objectifs de la politique de transport strasbourgeoise, présentés dans les documents officiels (Plan de Déplacements Urbains, par exemple), ne se cantonnent pas au domaine de la mobilité mais couvrent un éventail très large allant du développement économique et urbain au renforcement de la cohésion sociale et à l'amélioration de l'image de la ville. La structure des réseaux urbains influence également l'activité économique et le développement des marchés urbains du travail. Comme le souligne Buinot [25], la productivité d'une agglomération (par travailleur, mais aussi par unité de capital) augmente avec la taille de l'agglomération. L'explication la plus convaincante n'est pas tant que les grandes villes ont de vastes marchés de l'emploi mais que les individus ont accès à un vaste marché de l'emploi.

A Strasbourg, la volonté d'améliorer l'accessibilité se lit dans les instruments mis en œuvre. L'objectif portant plus particulièrement sur un renforcement de l'accessibilité en transports en commun entre les quartiers périphériques et centraux, l'accent a été mis sur la réalisation d'un réseau de tramway. Se pose dès lors la question des conséquences d'une telle réorganisation des réseaux de transport sur l'accessibilité, et de son évaluation au regard des objectifs fixés.

La mobilisation du Système d'Information Géographique, développé au cours des chapitres 3 et 4, s'avère intéressante dans une optique d'évaluation économique. Ainsi le chapitre 5, au travers de mesures d'accessibilité à l'emploi, cherche à apporter des éléments pour analyser, *a posteriori*, la cohérence de la réorganisation de l'offre de transports collectifs avec les objectifs présentés dans le PDU.

Lorsqu'elle est menée *a priori*, l'évaluation économique envisage une situation dite de référence et des variantes qui pourraient être envisagées. Malgré notre travail, postérieur à la réorganisation de l'offre de transports en commun, nous cherchons à garder cette même logique en intégrant des scénarii qui auraient pu (ou pourraient) être mis en œuvre. Le chapitre 6 sera l'occasion

### *INTRODUCTION DE LA PARTIE III*

---

de présenter des éléments complémentaires à l'évaluation économique précédente en intégrant une analyse semi-désagrégée de la population étudiée (la population active) puis en envisageant différents scénarii pour réduire l'écart de performance entre la voiture particulière et les transports en commun.

# Chapitre 5 : Éléments pour une évaluation *a posteriori* de la politique de transport au travers du prisme de l'accessibilité

## I Introduction

La Loi d'Orientation des Transports Intérieurs du 30 décembre 1982 <sup>47</sup> a défini à travers l'article 14 <sup>48</sup> l'obligation de réaliser des évaluations économiques *a posteriori* et des bilans des grands projets d'infrastructures de transport donnant lieu à un financement public, partiellement ou en totalité <sup>49</sup>(Gamon et Le Van, [75]). Ces projets doivent être évalués sur la base de critères homogènes intégrant les impacts des effets externes des transports relatifs, notamment, à l'environnement, à la sécurité et à la santé <sup>50</sup> et permettant de procéder à des comparaisons à l'intérieur d'un même mode de transport et entre différents modes ou combinaisons de modes [47]. Tandis que les évaluations sont rendues publiques avant l'adoption définitive des projets, les bilans visent à apprécier les effets des infrastructures au plus tard cinq après leur mise en service.

Les bilans LOTI revêtent un caractère obligatoire et public qui souligne

---

<sup>47</sup>Loi n° 82-1153

<sup>48</sup>Complété par le décret n° 84-617 du 17 juillet 1984

<sup>49</sup>Notamment pour les projets d'infrastructures de transport dont le coût est supérieur ou égal à 76 millions d'euros.

<sup>50</sup>Ces effets externes ont été intégrés par l'article 16 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (loi n° 96-1236) et la loi d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire n° 99-533 du 25 juin 1999

la nécessité de mesurer les résultats d'une politique, de rendre des comptes et de soumettre les investissements au jugement public <sup>51</sup>. Les bilans présentent alors principalement les écarts entre les prévisions réalisées et la réalité observée et ce, en termes de volume de trafic, de mise en place de l'offre, de développement économique...

Dans ce chapitre, notre objectif n'est pas de produire, ou plutôt de reproduire, l'évaluation *a posteriori* menée sur les quatre premières lignes du tramway strasbourgeois et publiée dans l'observatoire du tramway sur Strasbourg [4]. Il ne s'agit pas pour nous de confronter la réalité des données aux estimations des évaluations *a priori* mais plutôt de montrer en quoi la réorganisation du réseau de transports en commun est cohérente avec les objectifs définis par le Plan de Déplacements Urbains [45].

Nous menons de ce fait une évaluation partielle en nous concentrant sur les principaux enjeux liés à l'organisation des transports définis par Plan de Déplacements Urbains approuvé en juin 2000 mais entamé depuis la fin des années 80, à savoir :

1. l'accessibilité : la réduction des écarts d'accessibilité entre les automobilistes et les usagers des transports collectifs et, de façon sous-jacente, l'amélioration de l'accessibilité en transports en commun.
2. la cohésion territoriale : le renforcement de l'accessibilité au centre-ville depuis les quartiers périphériques et notamment les quartiers enclavés.
3. l'espace urbain : les infrastructures de transport constituent un levier important d'orientation des évolutions du territoire urbain. L'évolution de la structure urbaine doit être orientée afin de renforcer le poids des quartiers centraux.

Ces objectifs qui relèvent à la fois de l'analyse spatiale et de l'analyse en termes de concurrence modale se traduisent par deux grandes orientations : la limitation de l'usage de l'automobile en centre-ville doit se doubler d'une amélioration de l'offre de transports collectifs afin de favoriser l'accessibilité, notamment depuis les quartiers enclavés, pour *in fine* inciter au report modal. Au cours de ce chapitre nous nous concentrons sur la seconde orientation pour voir dans quelle mesure la mise en service des quatre premières lignes de tramway permet de répondre à l'objectif d'accessibilité et de report modal

---

<sup>51</sup>Loi de finances rectificative pour 2002 (art. 12)

qui lui est associé, dans une optique d'aménagement du territoire et d'un retour à une forme de centralité.

Pour réaliser cette évaluation *a posteriori*, nous menons une analyse en considérant successivement l'impact de la réorganisation du réseau de transports en commun sur le niveau d'accessibilité à l'ensemble de l'aire d'étude puis au centre-ville.

Après avoir présenté les principales hypothèses sous-jacentes à notre étude, nous nous intéressons à l'évolution de l'accessibilité sur l'ensemble du territoire pour les usagers des transports en commun ainsi qu'à l'évolution de la concurrence modale. Nous cherchons à montrer que la restructuration du réseau de transports en commun a permis d'améliorer l'accessibilité aux emplois en transports en commun. Derrière ces résultats, c'est essentiellement la composante de coût généralisé qui sera analysée. Toutefois, il convient de garder à l'esprit l'impact de la localisation des emplois (et de son évolution) sur le niveau d'accessibilité.

La quatrième section du chapitre repose sur la relation entre ville et système de transport (Wulfhorst et al., [180]). Elle est consacrée à l'évolution de l'accessibilité au centre-ville et met en oeuvre une analyse spatiale. Elle est organisée de manière à répondre aux questions suivantes :

- Dans quelle mesure le tramway peut-il influencer sur la structure urbaine et le développement des quartiers ?
- Que se serait-il passé sans le tramway ?
- Quels sont les quartiers qui ont bénéficié de la réorganisation du réseau de transports en commun ?

## II Considérations méthodologiques et lecture des résultats cartographiques

### II.1 Comment lire les cartes d'accessibilité ?

- Trois types de cartes d'accessibilité sont présentés dans ce chapitre :
- les cartes de **niveau d'accessibilité** illustrent l'accessibilité gravitaire depuis chaque zone  $i = 1 \dots 1603$ , à l'ensemble des autres zones de l'aire d'étude ou, lorsque précisé, à l'ensemble des zones du centre-ville élargi.

L'accessibilité gravitaire n'ayant pas d'unité de mesure, nous illustrons le niveau d'accessibilité de chaque zone en référence à l'accessibilité de la zone centrale (correspondant à la localisation de la station de tramway « Homme de Fer ») en 1993.

- les cartes de **différentiel d'accessibilité** sont mobilisées pour illustrer l'évolution du niveau d'accessibilité entre 1993 et 2005 ou bien pour représenter, à une date donnée et pour chaque zone, la « performance » du mode qui offre le meilleur niveau d'accessibilité.
- les cartes illustrant la **variation de surplus** des usagers représentent, pour chaque zone, la variation d'accessibilité pondérée par les masses émettrices de déplacement.

## II.2 Hypothèse sur la période considérée

L'ensemble des analyses portera sur l'accessibilité en heure de pointe. Plusieurs raisons expliquent notre choix. Tout d'abord plus de la moitié des déplacements domicile-travail sont réalisés entre 7h et 9h le matin : l'évaluation de l'impact de la réorganisation du réseau de transports en commun pour les actifs doit donc se faire en considérant ces créneaux horaires. Ensuite, l'un des objectifs de la politique de transport est de favoriser le report modal vers les transports en commun, notamment pour limiter la congestion en heure de pointe. Enfin, dans un souci de clarté pour le lecteur, la redondance d'informations cartographiques liée à la présentation des résultats en heure de pointe et en heure creuse pourrait nuire à la lisibilité des cartes d'accessibilité.

## III Une évaluation sous l'angle de la concurrence modale

Cette troisième section se concentre sur l'évaluation du volet accessibilité du PDU et analyse plus particulièrement les termes de la concurrence modale. Le PDU s'appuie sur les limites du « tout automobile » pour proposer une recomposition de l'offre de transports en commun qui inciterait à une inversion des tendances en termes de comportements de déplacement et en particulier de choix modal. En 1988, sur l'ensemble de la Communauté Urbaine de Strasbourg, les 3/4 des déplacements mécanisés s'effectuaient en

voiture particulière et la part des transports collectifs atteignait 11% des déplacements. Bien que le périmètre de notre aire d'étude soit plus réduit, les pratiques modales tendent à rester les mêmes.

L'enjeu autour de l'accessibilité développé dans le PDU comprend simultanément l'amélioration de l'accessibilité en transports en commun et la réduction du différentiel d'accessibilité entre voiture particulière et transports en commun. Aussi, au cours de cette section, adopterons-nous une démarche en deux temps correspondant à ces deux volets.

### **III.1 Une amélioration de l'accessibilité aux emplois en transports en commun**

La première phase de l'évaluation se concentre sur les usagers (réels ou potentiels) des transports en commun, qui seraient parmi les principaux bénéficiaires de l'arrivée du tramway et de l'amélioration concomitante du réseau de bus. Au coeur de cette évaluation, la question de l'évolution de l'accessibilité aux emplois en transports en commun interroge la pertinence de la politique au regard des habitudes de déplacements des actifs et ce, tant en termes de période de déplacement que d'Origine-Destination.

L'analyse sera menée à partir de la mesure de variation de surplus de l'usager des transports en commun entre 1993 et 2005. Les différentes composantes de la variation de surplus individuel, et plus particulièrement l'accessibilité, seront analysées successivement pour pointer les pierres d'achoppement que rencontrent les usagers des modes de transports collectifs.

#### **III.1.1 Une variation de surplus positive**

L'intérêt de mesurer la variation de surplus pour évaluer une politique de transport est double. La variation de surplus d'un usager traduit l'impact d'une nouvelle infrastructure de transport sur la variation de son utilité. Mesurer la variation de surplus générée pour chaque zone par la nouvelle politique de transport permet d'une part de pondérer le niveau d'accessibilité de chaque zone par le volume de population concernée (les masses émettrices). Le territoire d'étude est fortement marqué par les espaces naturels et analyser l'accessibilité uniquement sous l'angle spatial suppose que toutes les zones présentent les mêmes caractéristiques socio-démographiques. La prise



en compte de la population active permet de nuancer les résultats. D'autre part, la variation de surplus permet d'introduire l'indice d'accessibilité dans le calcul économique. L'accessibilité est alors envisagée comme un élément entrant dans la décision publique. Le lien entre accessibilité et variation de surplus est démontré au chapitre 1. Il s'écrit de la façon suivante :

$$\Delta S_i = \frac{O_i}{\beta} (\ln A_i^{2005} - \ln A_i^{1993})$$

Avec :

- $O_i$ , les actifs en 2005
- $\ln A_i^{2005}$ , l'accessibilité en 2005
- $\ln A_i^{1993}$ , l'accessibilité en 1993
- $\beta$ , un paramètre (voir chapitre 4 pour son calcul)

Sur le territoire pris dans son ensemble, la variation de surplus est supérieure à 0 et confirme l'impact positif de la réorganisation du réseau de transports en commun sur l'utilité retirée par la population. En considérant une discrétisation par quantiles et une classe médiane pour laquelle la variation de surplus est nulle, nous pouvons souligner, à partir de la figure 17 (d) que les 40% de zones dont la variation de surplus est positive sont situées dans les quartiers Nord, Ouest et Sud-Ouest de Strasbourg et dans la quasi totalité de la commune d'Illkirch exceptée sa partie Ouest. Ces quartiers, bien que ne figurant pas parmi les moins densément peuplés, ne se situent pas nécessairement parmi les plus habités par les actifs, excepté le quartier de Hautepierre. En revanche, ils présentent tous la particularité d'être desservis par une ligne de tramway ou une nouvelle ligne de bus de rabattement jusqu'au réseau tramway. La nouvelle desserte d'un quartier par les transports en commun se traduit par un gain de temps (donc une baisse du coût généralisé), voire par la possibilité de se déplacer en transports collectifs, nouvelle pour les quartiers du Nord de Strasbourg ou du Sud-Est d'Illkirch. Toutefois, être desservi par le tramway ne se traduit pas forcément par une variation de surplus positive comme l'illustre le cas du quartier de l'Espalanade qui bénéficiait d'une desserte de bus performante en 1993 avant la mise en service de la ligne de tramway C. La comparaison entre la variation de population figure 22 (b) et la variation de surplus nous enseigne également qu'une variation de population (même supérieure à 20%) peut également se traduire par une variation négative de surplus comme dans le cas du quartier de Koenigshoffen. Cet exemple souligne que l'analyse de la variation de surplus n'est

pas uniquement dépendante des modifications de l'offre de transport ou de population mais qu'elle doit être reliée au différentiel d'accessibilité

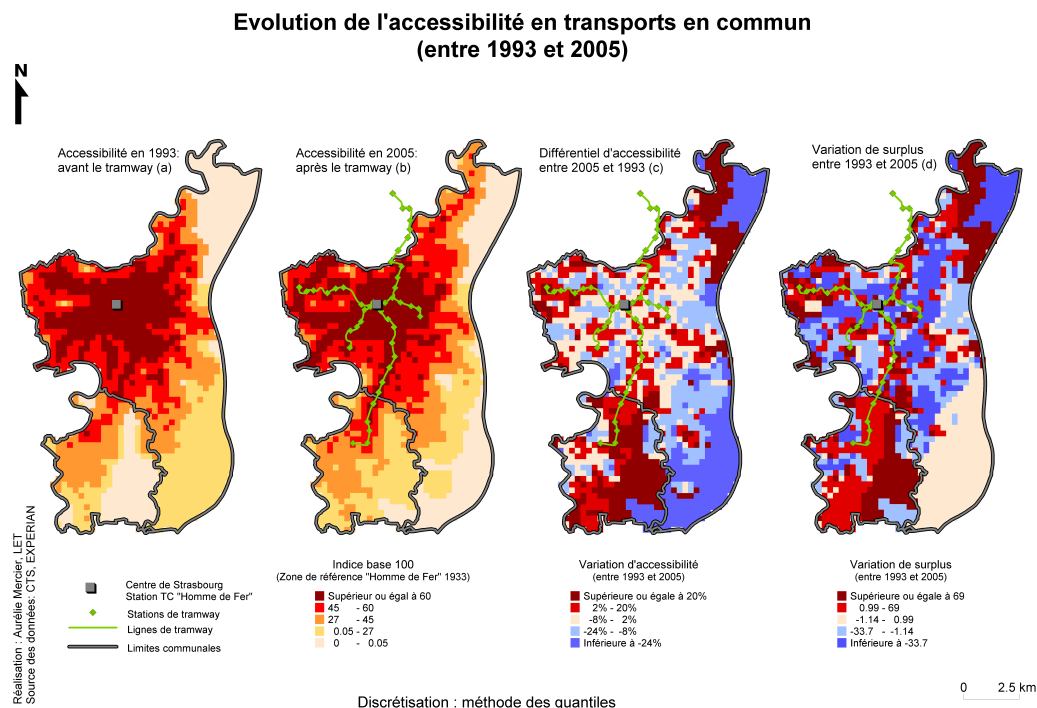


FIG. 17 – Evolution de l'accessibilité en transports en commun

### III.1.2 Une représentation de l'accessibilité en doigts de gants

Si l'on raisonne en termes de population active, on constate en 1993 et en 2005 que 82% des actifs résident dans une zone pour laquelle l'indice d'accessibilité est supérieur à 45. On observe toutefois que la part des actifs vivant dans une zone du cinquième quintile (indice supérieur à 60) diminue (- 4 points) au profit de celle vivant dans une zone quatrième quintile (indice supérieur à 45).

Les figures 17 (a) et 17 (b), illustrent que, quel que soit le réseau considéré (1993 ou 2005), le niveau d'accessibilité témoigne de la distance au centre ainsi que de la structure du réseau de transports en commun. Le réseau, très dense au sein des zones centrales, laisse place à des lignes de bus plus diffuses

dans les quartiers périphériques. Le niveau d'accessibilité en transports en commun apparaît ainsi sous la forme d'une structure en doigts de gants à partir du centre-ville élargi. La forte concentration des emplois au centre-ville, associée à un réseau de transports en commun très dense, procure aux actifs résidant dans les zones centrales les niveaux d'accessibilité les plus élevés du territoire. Les « doigts de gants » reflètent quant à eux la performance des lignes de bus reliant le centre aux zones périphériques. Ces lignes, essentiellement localisées au Sud-Ouest et au Nord-Est de l'aire d'étude, sont caractérisées par une vitesse commerciale élevée du fait notamment de leur itinéraire en zone périurbaine. La très faible accessibilité des zones localisées au Sud-Est ainsi qu'au Nord-Est de l'aire d'étude est à relier à l'absence de ligne de transports en commun dans ces zones tant en 1993 qu'en 2005, en raison de la présence de zones forestières et d'une zone portuaire.

### III.1.3 Une évolution de l'accessibilité soumise à la variation de ses différentes composantes

L'accessibilité gravitaire d'une zone  $i$  est déterminée à partir de la formule suivante :

$$A_i = \sum_j D_j \exp^{-\beta C_{ij}}$$

avec

- $A_i$  l'accessibilité depuis la zone  $i$
- $D_j$  les opportunités présentes dans la zone  $j$
- $\beta$  un paramètre
- $C_{ij}$  le coût généralisé du déplacement entre les zones  $i$  et  $j$

Si l'on considère constant le paramètre Beta, le niveau d'accessibilité varie en fonction des trois composantes que sont le coût monétaire, le coût temporel et le nombre d'emplois. Aussi, après avoir commenté l'évolution de l'accessibilité, nous attacherons-nous plus particulièrement aux composantes qui l'ont influencé à l'exception du nombre d'emplois. De fait, l'absence de données sur l'évolution de l'emploi à l'échelle de la zone Iris nous conduit à considérer une évolution identique pour tous les quartiers de la ville.

*Un différentiel d'accessibilité corrélé à la variation de surplus*

On note, à la lumière de la figure 17, une corrélation très forte entre différentiel d'accessibilité et variation de surplus. Plus de 98% des zones présentant un différentiel d'accessibilité positif connaissent également une variation de surplus positive. Si les calculs de différentiels d'accessibilité aboutissent aux mêmes conclusions que les calculs de variation de surplus, ils présentent l'intérêt de relativiser les effets de la politique de transport sur les zones non-habitées ou au contraire sur les zones densément peuplées. La zone industrielle du port du Rhin et de la forêt du Neuhof (au Sud-Est de Strasbourg) dont la variation de surplus est nulle en raison de sa faible densité présente un différentiel d'accessibilité négatif. Certains îlots des quartiers de Haute-pierre, du Neuhorf ou de Montagne Verte présentent un niveau d'accessibilité correspondant au quatrième quintile tandis qu'ils se situent dans les 10% de zones pour lesquelles la variation de surplus est la plus importante, et ce en raison de leur forte densité de population.

*Une évolution globale positive qui masque des disparités*

Le niveau d'accessibilité globale (obtenu en sommant l'accessibilité de chacune des 1603 micro-zones) s'accroît légèrement entre les deux dates (+ 4 points). L'explication réside dans l'amélioration conjointe de l'offre de transport et du nombre d'emplois sur l'ensemble du territoire étudié. Entre 1993 et 2005, la vitesse commerciale en heure de pointe passe ainsi de 14.5 km/h à 16 km/h tandis que le nombre d'emplois offerts s'accroît de 1.34%.

L'analyse à un niveau désagrégé laisse apparaître des résultats plus contrastés. La figure 17 (c) présente, pour chaque zone, le différentiel d'accessibilité entre 2005 et 1993. Les zones sont réparties en cinq classes d'effectifs égaux selon leur différentiel d'accessibilité. Nous considérons que les zones présentant un différentiel d'accessibilité compris entre -8 points et +2 points ont un niveau d'accessibilité identique en 1993 et 2005. Bien que l'amplitude de la classe  $[-8, +2[$  ne soit pas symétrique autour de 0, nous avons choisi de conserver la méthode de discrétisation en quantiles pour représenter le différentiel d'accessibilité et ce pour deux raisons :

- Cette méthode étant utilisée pour cartographier le niveau d'accessibilité, il semblait opportun d'un point de vue méthodologique de la conserver.

- Cette méthode donne des résultats similaires à ceux issus d’une méthode empirique tenant compte des discontinuités de la série et dont la classe centrale est  $[-5, 5]$ .

La réorganisation du réseau de transports en commun se traduit paradoxalement par une perte d’accessibilité pour 40% du territoire. Ce phénomène concerne principalement les zones centrales qui, malgré une baisse de leur indice, conservent une bonne accessibilité. L’impact de la politique est quelque peu différent si l’on se place du point de vue des actifs et non des zones. Environ 36% de la population active a vu son niveau d’accessibilité s’améliorer, contre 27% de ces mêmes actifs qui ont vu leur niveau d’accessibilité diminuer. La perte et le gain d’accessibilité sont ainsi moindres si l’on considère les actifs et non les zones.

Tandis que le niveau d’accessibilité d’une zone reflète sa localisation centrale ou périphérique, il n’en va pas de même pour le différentiel d’accessibilité. En effet, comme illustré par la figure 17 (c), les zones ayant bénéficié de la réorganisation du réseau de transport en commun (et notamment du tramway) se situent indifféremment dans la partie centrale de la ville ou dans ses faubourgs. Il en est de même pour les zones dont le niveau d’accessibilité s’est détérioré. En revanche nous pouvons distinguer, dans de nombreux cas, des sortes d’agrégats. Parmi les agrégats, on peut citer par exemple ceux de Hautepierre, des quartiers de l’Est et du Sud d’Illkirch, du quartier de la Robertsau pour les zones ayant gagné en accessibilité et ceux des quartiers Sud de Strasbourg, de l’Est de la Plaine des Bouchers, du Nord-Est de Strasbourg pour les zones ayant perdu en accessibilité. Ainsi, une zone dont le différentiel d’accessibilité est positif (ou négatif) n’est généralement pas isolée mais se trouve dans un noyau dont l’ensemble des zones présente un ou plusieurs dénominateurs communs influençant le différentiel d’accessibilité. Un exemple de dénominateur commun pourrait être la desserte du noyau par une nouvelle ligne de bus ou de tramway.

### *Des évolutions marquées par la structure du réseau*

La restructuration du réseau de transport en commun par le biais de la création, de la suppression et du changement d’itinéraire de certaines lignes influence le niveau d’accessibilité des zones traversées ou desservies par ces lignes. La suppression de la ligne n° 36 s’est ainsi traduite par une perte d’accessibilité de plus de 20 points pour le secteur Ouest de la plaine des

Bouchers qui n'est plus connecté au réseau de transports en commun en 2005. Toutefois, entre 1993 et 2005, les cas de suppression de lignes sont rares à l'inverse des créations de lignes. Citons deux exemples de nouvelles lignes : la ligne n° 63, au Sud et la ligne n° 72, au Nord de l'aire d'étude. Ces lignes présentent les particularités de traverser des quartiers non desservis auparavant par le réseau de bus. L'accès, depuis ces quartiers du Nord et du Sud, à l'ensemble du territoire étudié était alors impossible (dans des limites de temps d'accès au réseau raisonnables, soit un peu plus de 15 minutes de marche à pied à l'instar de ce qu'envisage la RATP dans ses calculs d'itinéraires) en transports en commun, d'où le fort accroissement du niveau d'accessibilité. Ces nouvelles lignes peuvent être qualifiées de lignes de rabattement dans la mesure où elles relient ces quartiers périphériques au réseau de tramway en traversant exclusivement des zones périurbaines, ce qui leur permet d'atteindre une vitesse commerciale supérieure à 20 km/h.

A un niveau d'analyse plus précis, la figure 17 (c) souligne l'importance de la localisation des arrêts et implicitement celle de la connexion entre chacune des zones et le réseau de transports en commun. Prenons, pour illustrer notre propos, l'exemple de la ligne A du tramway. Le différentiel d'accessibilité est positif pour la plupart des zones desservies par le tramway (excepté trois zones pour lesquelles il est nul) et ce, même si la ligne de tramway n'est pas connectée au réseau de bus. Les stations de tramway les plus fréquentées<sup>52</sup> (qui sont également des stations de correspondance avec les lignes de bus) présentent toutes, à l'exception de la station Esplanade, une variation d'accessibilité positive. En revanche la traversée d'une zone (sans arrêt) par le tramway ne se traduit que très rarement par un gain d'accessibilité en raison de la non-connexion de la zone au réseau de tramway.

### *Des évolutions marquées par la structure des coûts monétaires*

Les deux premiers facteurs explicatifs des variations d'accessibilité développés ci-dessus se rapportent à la structure même du réseau et à son évolution. Il semble toutefois paradoxal, lors d'une première lecture, d'observer que certaines zones voient leur niveau d'accessibilité diminuer alors même qu'elles ne sont pas concernées par une restructuration de l'offre et

---

<sup>52</sup>Homme de Fer, Gare Centrale, Rotonde, Hautepierre, Illkirch Lixenbuhl, Etoile Bourse pour la ligne A et/ou D, Montagne Verte et Esplanade pour les lignes B et C.

que le nombre d'emplois offerts en 2005 est supérieur à celui de 1993. L'explication de ce paradoxe réside dans le coût du transport et notamment le coût temporel.

La réorganisation du réseau de transports en commun s'est traduite par un accroissement de l'offre. Parallèlement, le coût monétaire d'un déplacement en transport en commun augmente de 20% tandis que le revenu par actif s'accroît de 1.20 % (inflation déduite). Toutefois, la figure 18 (a) illustre, pour la majorité des zones, un différentiel d'accessibilité comparable sans et avec hausse du coût monétaire. Seules les zones du centre-ville voient leur différentiel d'accessibilité se réduire entre 1993 et 2005 si le prix du ticket reste le même. En effet, pour ces zones bénéficiant d'une bonne desserte en transports en commun et donc de temps de parcours relativement faibles pour accéder aux emplois, le coût monétaire pèse davantage dans le coût généralisé que le coût temporel et ce, à l'inverse des zones plus éloignées du centre-ville.

### *Des évolutions marquées par la structure des coûts temporels*

Entre 1993 et 2005 la valeur du temps a elle aussi fortement augmenté. La valeur du temps intégrée pour analyser l'évolution de l'accessibilité en transports en commun est de 11,4€ par heure en 2005, soit 0,19 € par minute et non la valeur tutélaire de 12€ par heure. En effet, les valeurs tutélaire françaises ont évolué entre 1993 et 2005 sur la base des revenus mais elles ont également été réajustées à partir de diverses études françaises et étrangères publiées au cours de ces dix dernières années [44]. Ainsi les valeurs tutélaire de 2005 sont supérieures à ce qu'elles auraient été si seul l'accroissement des revenus avaient été pris en considération.

Or, les tests de sensibilité réalisés au chapitre 4 illustrent l'importance de la valeur du temps sur le niveau d'accessibilité et ce d'autant plus que l'on raisonne sur un axe longitudinal pour un actif  $\lambda$  et non transversal (pour plusieurs individus à une même période). En effet, dans le cadre d'une comparaison entre deux modes à une même date, la valeur du temps sera identique (les paramètres de confort étant directement intégrés dans le calcul du temps de déplacement en lui-même) pour tous les actifs qu'ils soient automobilistes ou usagers des transports en commun. A l'inverse, dans le cadre d'une comparaison entre deux dates mais pour un même mode, la valeur du temps joue un rôle crucial. Elle doit refléter au maximum la perception

qu'ont les usagers (ici les usagers des transports en commun) de leur temps de déplacement et de son évolution.

Compte-tenu de ces considérations, nous calculons pour 2005 une valeur du temps dont l'évolution, sur la base de la valeur tutélaire de 1993, varie en fonction du revenu [171]. Entre 1994 et 1999, le revenu brut par habitant en Alsace a augmenté 1,20% par an (inflation déduite) [94]. Nous supposons d'une part que la variation de revenu des actifs résidant Strasbourg et Illkirch-Graafestaden est identique à la variation de revenu de l'ensemble de la population alsacienne. D'autre part, nous considérons que ce taux de variation est identique pour chaque année de 1993 à 2005 et l'appliquons à la valeur du temps de 10.2€ par heure en 1993.

La figure 18 (b) illustre le différentiel d'accessibilité entre 1993 et 2005 en considérant une valeur du temps constante. On note qu'à valeur du temps constante, près de 70% du territoire voit son niveau d'accessibilité s'améliorer grâce à la réorganisation du réseau de transports en commun. Les 20% du territoire dont l'accessibilité diminue correspondent aux zones peu densément peuplées. L'accroissement de la valeur du temps de transport constitue l'un des principaux facteurs expliquant la perte d'accessibilité en transports en commun et donc la variation négative de surplus pour les usagers qui les empruntent. Dès lors, afin que le coût généralisé d'un déplacement ne diminue pas, il faudrait donc compenser la hausse des coûts (monétaires et temporels) par un gain de temps (par exemple, pour conserver un coût généralisé de déplacement entre deux zones égal à 10, il convient de diminuer le temps de parcours de 7 minutes environ, soit 14%) ou accroissement du nombre d'emplois à destination. Toutefois, la hausse de 1.24%, entre 1993 et 2005, des opportunités proposées sur l'ensemble de l'aire d'étude ne le permet pas.



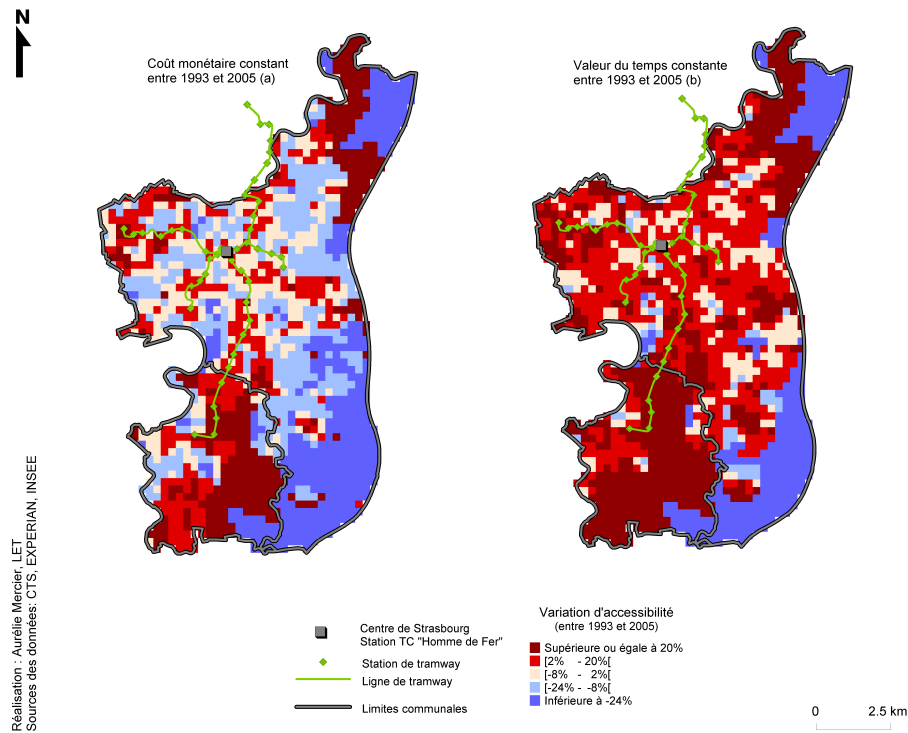


FIG. 18 – Evolution de l'accessibilité en transports en commun avec des coûts constants

### III.2 L'automobile comme mode le plus performant

L'enjeu de cette seconde sous-section consiste à appréhender l'effet de la politique de transport sur la compétitivité des transports en commun vis-à-vis de l'automobile. En analysant l'évolution de la concurrence modale, nous cherchons à savoir dans quelle mesure la mise en service du tramway peut permettre aux transports en commun de concurrencer l'automobile. Ce scénario est ainsi fondé sur une comparaison de la concurrence modale avant et après la réorganisation du réseau de transports en commun et ce, en gardant à l'esprit que l'objectif principal de cette politique est de favoriser le report modal des automobilistes vers les transports en commun.

### III.2.1 Hypothèse sur la discrétisation des classes

En cartographiant le différentiel d'accessibilité entre automobile et transports en commun, l'objectif est double. Il consiste d'une part à mettre en évidence le mode le plus performant à une date donnée. La cartographie doit ainsi traduire pour chaque zone, qui de la voiture ou des transports en commun offre la meilleure accessibilité. Il vise d'autre part à illustrer l'écart d'accessibilité entre les deux modes pour évaluer dans quelle mesure l'un des modes « domine » l'autre. L'atteinte des objectifs associée à l'asymétrie et à la variété des formes de distribution influence la discrétisation. Ainsi les méthodes traditionnellement utilisées pour le découpage en classes ne permettent pas ici de tenir compte des objectifs et des types de distribution. Nous avons dès lors opté pour une méthode empirique à partir des seuils observés.

### III.2.2 La performance de l'automobile

A la lumière de la figure 19, l'automobile offre un niveau d'accessibilité supérieur ou équivalent aux transports en commun pour 99% de la population active et ce, quelle que soit la variante envisagée. L'ampleur du différentiel d'accessibilité est à relier avec la structure du réseau de transports en commun et, dans une moindre mesure, la structure du réseau autoroutier. Les zones présentant les différentiels les plus faibles sont des zones desservies par un réseau de transports en commun performant. On trouve dans ce cas les zones centrales mais également des zones localisées dans les quartiers de Cronenbourg-Hautepierre, de Robertsau qui sont desservies par une ligne de bus, ou de tramway, ou reliées au réseau tramway. A l'inverse, les zones pour lesquelles le différentiel d'accessibilité est largement favorable à l'automobile (différentiel supérieur à 200%) sont soit des zones non desservies par les transports en commun (secteurs Sud-Est et Nord-Est de l'aire d'étude) ou soit des zones localisées à proximité du réseau autoroutier et plus précisément d'une bretelle d'accès ou d'un échangeur. On retrouve, dans une moindre mesure, avec l'exemple des tronçons et échangeurs autoroutiers, ce que l'on observait dans la section III.1.3 avec les zones traversées et desservies par le tramway. Les zones localisées à proximité d'un accès autoroutier bénéficient d'un meilleur différentiel d'accessibilité que celles qui sont seulement traversées par un tronçon autoroutier.

### III.2.3 Une évolution favorable aux transports en commun

Malgré la réorganisation du réseau de transports en commun, l'automobile reste le mode offrant la meilleure accessibilité (cf. figure 19). La réorganisation du réseau de transports en commun ne se traduit pas directement par un différentiel d'accessibilité favorable aux transports en commun mais par une plus grande compétitivité de ces derniers dans des secteurs localisés au Nord, au Sud ou à l'Est de l'aire d'étude. Ce rééquilibrage s'explique principalement par l'accroissement de la vitesse commerciale en transports en commun associée à une constance des vitesses automobiles : la vitesse moyenne en voiture est supposée constante aux alentours de 57 km/h<sup>53</sup> et la vitesse commerciale des bus passe de 14.5 km/h à 16 km/h. Il convient de garder à l'esprit que l'amélioration de la performance des transports en commun s'est traduite par une hausse de 20% du coût d'un déplacement quand, dans le même temps, le coût d'utilisation d'une voiture au kilomètre a lui augmenté de 3% par kilomètre, auquel il faut ajouter les coûts de stationnement pour les déplacements à destination des zones centrales. La performance commerciale des lignes de transports en commun permet ainsi de compenser la hausse des coûts qu'elle a engendré pour d'une part offrir une accessibilité globalement meilleure en 2005 qu'en 1993 aux usagers des bus et tramways et pour, d'autre part, améliorer sa compétitivité vis-à-vis de l'automobile même si cette dernière reste encore le mode le plus performant.

---

<sup>53</sup>Cette vitesses peut sembler élevée mais il convient de garder à l'esprit qu'elle est calculée à partir des déplacements réalisés sur l'ensemble de l'aire d'étude, y compris sur des tronçons péri-urbains peu congestionnés. Un scénario sera toutefois mis en place dans le chapitre suivant pour limiter les vitesses automobiles.

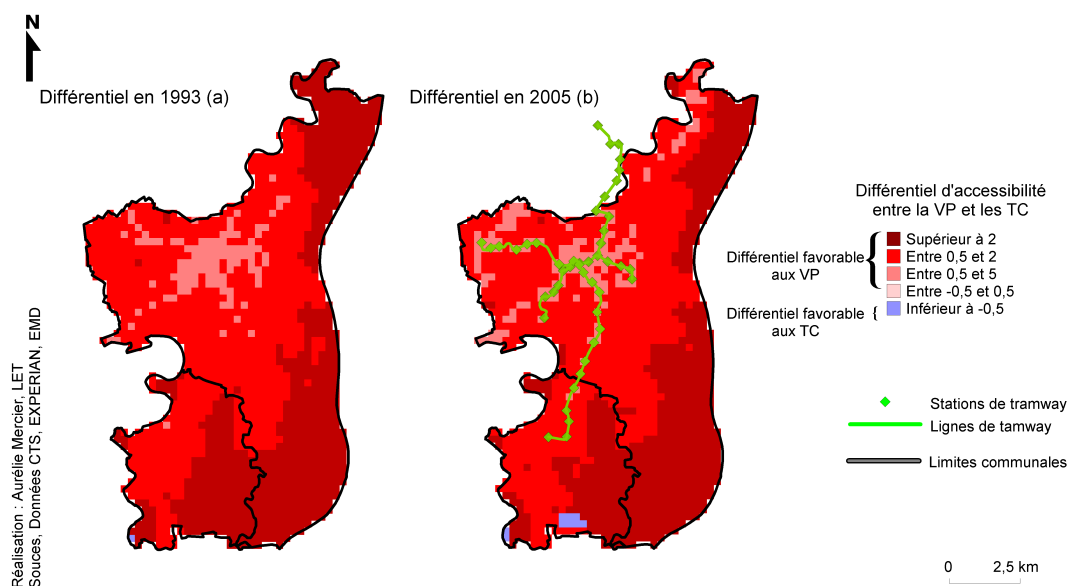


FIG. 19 – Evolution de la concurrence modale entre 1993 et 2005

\*  
\* \*

Cette section envisage l'impact de la réorganisation du réseau de transports en commun à Strasbourg entre 1994 et 2005 sur l'évolution de l'offre réellement proposée aux usagers des transports en commun et sur les termes de la concurrence modale. De tels éléments, abordés sous l'angle de l'accessibilité, ne constituent pas en tant que tels une évaluation économique mais peuvent y être intégrés dans l'analyse des impacts socioéconomiques.

La sous-section III.1 conclut à une accessibilité en transports en commun globalement meilleure en 2005 qu'en 1993 bien qu'évoluant de façon contrastée entre les différentes zones. Si les zones centrales et les zones desservies par des lignes de tramway ou de bus performantes présentent les niveaux d'accessibilité les plus élevés, les zones ayant bénéficié positivement de la politique de transport sont principalement localisées dans des quartiers périphériques nouvellement reliés au réseau tramway par une ou plusieurs lignes de bus performantes. Le constat est sensiblement identique si l'on mène une analyse à partir des variations de surplus. Nuançons toutefois nos propos pour ne pas faire d'amalgame entre variation négative d'accessibilité et de surplus et

niveau d'accessibilité. Certaines zones (centrales notamment) sont affectées d'une variation de surplus négative en raison d'une légère baisse d'accessibilité entre 1993 et 2005 alors qu'elles bénéficient, dans le même temps, d'un niveau d'accessibilité parmi les plus élevés de l'aire d'étude tant en 1993 qu'en 2005. La hausse de la valeur du temps et, dans une moindre mesure, du coût monétaire expliquent le niveau d'accessibilité décroissant depuis certaines zones. A partir de ces constats, il convient d'analyser si l'accroissement du niveau d'accessibilité en transports en commun est suffisant pour permettre à ces derniers de concurrencer l'automobile.

Au vu de la sous-section III.2, la réponse est négative. Malgré la réorganisation du réseau de transports en commun, ces derniers ne parviennent pas à concurrencer l'automobile notamment dans les secteurs bénéficiant d'une bonne desserte routière et autoroutière. Face à l'automobile, les transports en commun présentent au-delà des vitesses plus faibles, des temps de d'attente, d'accès au réseau et de trajet terminaux qui accroissent le temps de déplacement total. Deux pistes de réflexions pourraient être alors ouvertes : l'une consiste à modifier la perception qu'ont les usagers de ces temps, l'autre consiste à envisager une réduction des temps d'attente (donc une amélioration des fréquences) et des temps de marche à pied entre le réseau et les lieux origine et destination des déplacements (donc une meilleure desserte du territoire). La première piste pourrait être développée sous l'angle de l'information dispensée aux usagers dans la mesure où la connaissance des temps d'attente ou de retard améliore le confort des usagers. La seconde piste suppose une modification de l'offre de transports en commun tant pour améliorer les fréquences que pour améliorer la liaison entre quartiers suburbains mal desservis par les transports collectifs et pour lesquels les transports à la demande pourraient réduire au moins partiellement les temps d'accès au réseau. Dans la suite de notre travail nous n'aborderons pas ces scénarios prospectifs car ils nécessitent une modification de l'offre voire de l'infrastructure. Nous poursuivons toutefois notre évaluation de la politique mise en œuvre en nous attachant à sa dimension spatiale.

## IV Une évaluation de la politique de transport à l'échelle spatiale

Cette section se propose d'évaluer la politique de transport en considérant sa dimension territoriale. Au-delà de l'impact de l'offre de transport dans la détermination des comportements de mobilité, le Plan de Déplacements Urbains insiste sur l'importance des infrastructures de transport dans la structuration et l'organisation du territoire. Parmi les objectifs avancés par le PDU, deux propositions relèvent de l'aménagement du territoire.

Premièrement, les infrastructures de transport sont envisagées comme un outil de gestion de l'espace urbain tant dans son évolution spatiale que dans la « qualité de vie » qui y est proposée. Les infrastructures routières, en offrant de la vitesse aux usagers, tendent à allonger les distances parcourues (Wiel, [177]) et peuvent se traduire par une extension de la ville sur le modèle de la ville américaine. Les lignes de transport en commun de surface contribuent davantage à redonner à la ville sa dimension physique au détriment de sa dimension temporelle sur le modèle de la ville européenne.

Deuxièmement, et faisant suite à l'idée précédente, les infrastructures de transport en commun sont considérées comme un vecteur d'intégration des quartiers au sein de l'espace urbain. Améliorer la desserte du centre-ville depuis ses quartiers périphériques constitue ainsi l'une des priorités inscrites dans le PDU. Cette amélioration vise à réduire les inégalités d'accès aux centre-ville et aux emplois entre individus résidant dans des quartiers différents. Le passage de la ville pedestre à la ville motorisée [176] s'est traduit par une évolution des localisations de l'habitat et des emplois qui peut créer des inégalités entre les individus. Wenglenski [175] souligne ainsi que les individus pénalisés par les nouvelles configurations urbaines sont « ceux pour qui la mobilité reste difficile et dont la localisation est fortement contrainte ».

Ces deux propositions relevant de l'aménagement du territoire seront examinées successivement. Nous montrerons dans un premier temps comment le tramway participe à la gestion urbaine en accompagnant l'évolution de la ville et le développement de ses quartiers périphériques tout en conservant l'idée d'une centralité unique. Nous compléterons cette analyse en étudiant l'impact du tramway sur l'homogénéisation du niveau d'accessibilité aux emplois du centre-ville entre les actifs des différents quartiers.

## IV.1 Le tramway comme outil de gestion urbaine

En appuyant notre démarche sur une analyse en termes d'accessibilité, nous soulignerons l'influence du tramway (et plus généralement des transports en commun urbains) sur l'organisation de l'espace urbain strasbourgeois à partir de deux illustrations. Pour ce faire, nous travaillerons à partir de mesures d'accessibilité depuis l'ensemble des 1603 micro-zones, qui composent notre aire d'étude, vers le centre-ville (voir figure 20 pour le périmètre retenu pour le centre-ville).

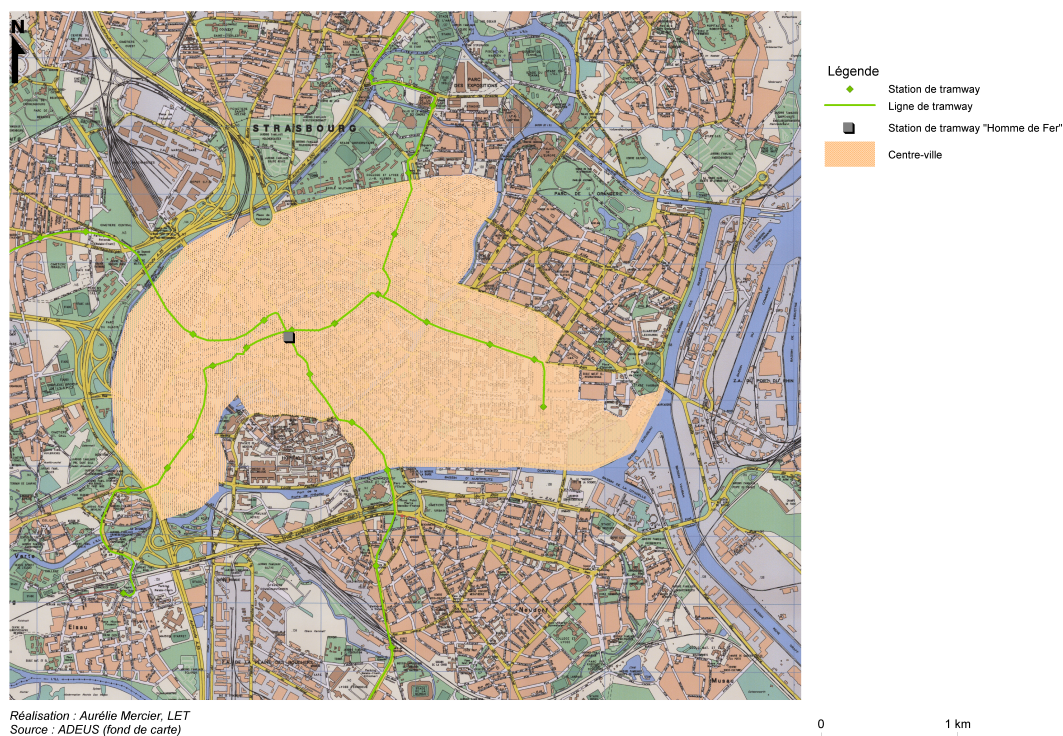


FIG. 20 – Périmètre du centre-ville

### IV.1.1 Les transports en commun pour renforcer la centralité

Les transports en commun peuvent être perçus comme un levier pour maintenir, voire renforcer la prédominance du centre-ville. On s'oriente alors vers un centre-ville qui s'apparente à un parc d'attractions urbain [48] au

sein duquel l'accès aux aménités urbaines est subordonné à l'utilisation de modes de transports collectifs et de modes « doux ». Le cas de Strasbourg est typique d'un tel schéma.

La comparaison des différentiels d'accessibilité à l'ensemble du territoire et au centre-ville entre la voiture et les transports en commun est sans équivoque. En effet, la figure 19 illustre un niveau d'accessibilité à l'ensemble du territoire toujours meilleur pour les automobilistes. La réorganisation du réseau de transports en commun a, pour quelques zones, permis un rééquilibrage sans pour autant inverser la tendance. A l'inverse, la représentation cartographique des différentiels d'accessibilité au centre-ville entre les deux modes (figure 21) illustre une accessibilité meilleure pour les usagers des transports en commun pour 871 zones représentant 93% de la population active en 1993 et 862 zones représentant 92% de la population active en 2005. On constate ainsi qu'en 1993, le réseau de transports en commun était suffisamment performant pour entretenir l'idée d'un centre-ville dense et porteur d'aménités.

La réorganisation du réseau de transport en commun et l'arrivée du tramway n'auraient donc servi qu'à entretenir cette centralité ? La réponse est multiple. L'arrivée du tramway n'a pas bouleversé les termes de la concurrence modale sur l'accès au centre-ville mais, en diminuant les temps de parcours, elle a permis de compenser la hausse des valeurs du temps et donc de maintenir un coût généralisé en transports en commun sensiblement constant (+ ou - 10%) pour 52% de la population. La figure 21 (c) illustre que, sans amélioration de l'offre de transports en commun par rapport à 1993, on aurait observé, en 2005, un rééquilibrage de l'accessibilité au centre-ville entre les deux modes. Seuls les actifs résidant au centre auraient vu leur niveau d'accessibilité augmenter à l'inverse des actifs résidant dans des zones qui ne sont pas directement desservies par une ligne de TC mais où un temps de marche est nécessaire pour atteindre le réseau de bus. Si le tramway, associé à une réorganisation du réseau de bus, a permis des gains de temps, son impact sur les usagers est également psychologique. Nos calculs ne prennent pas en compte la différenciation de perception du confort lors d'un trajet en bus ou en tramway. Toutefois des études menées par le London Transport (reprises par Coindet [43]) ont montré que le temps de déplacement en tramway était perçu moins long que le même temps passé dans les mêmes conditions (assis, debout . . .) dans un bus. Par ailleurs, bien que difficile à évaluer dans notre



travail, le tramway semble influencer la localisation des activités et de l'habitat comme le soulignent les rapports de l'ADEUS [3] et [4]. Le tramway, en favorisant le regroupement des emplois autour de son réseau, tendrait à renforcer l'idée d'un parc d'attractions urbain dans le centre-ville de Strasbourg. Ainsi, en améliorant l'accès au centre-ville depuis un certain nombre de quartiers périphériques, la réorganisation du réseau de bus permet d'envoyer un signal aux usagers, réels ou potentiels, des transports en commun tant en termes de choix modal que de politique urbaine.

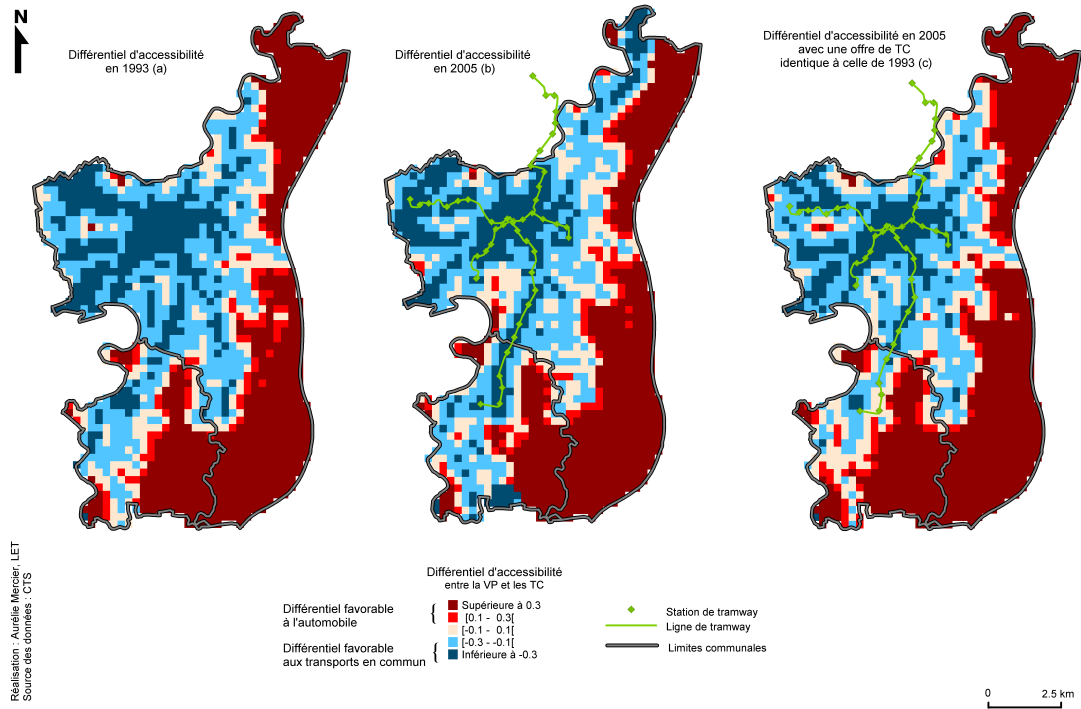


FIG. 21 – Evolution du différentiel d'accessibilité au centre-ville

#### IV.1.2 Tramway et développement des quartiers

La mise en service d'une ligne de tramway, et plus généralement d'une infrastructure de transport, interagit avec d'autres phénomènes (économiques, sociaux, urbains ...) pour façonner la ville. Comme le souligne Jean-Marc Offner [138], en aucun cas, une ligne de tramway ne peut générer seule des

effets structurants dans la mesure où elle est liée aux conditions politiques, économiques et sociales qui ont permis sa réalisation. L'« effet tramway » utilisé par abus de langage n'est en réalité que le résultat de « congruences », d'adaptations réciproques entre différents domaines.

En gardant à l'esprit qu'une infrastructure de transport ne peut être seule le vecteur de transformations urbaines, nous croisons les données spatiales sur la localisation de la population et de l'infrastructure de transports en commun avec l'indicateur d'accessibilité gravitaire. En constituant une armature urbaine visible, le tramway tisse notamment des interactions économiques et sociales qui favorisent la densité (Stambouli [157]), et réciproquement. L'analyse de « l'effet » du tramway sur la localisation de la population est contrainte par un recul temporel limité et la disponibilité des données. Les données les plus récentes dont nous disposons à l'échelle de la zone Iris datent de 1999, soit moins de cinq ans après la mise en service du premier tronçon de la ligne A du tramway sachant que les autres lignes et le deuxième tronçon de la ligne A ont été inaugurés après 1998. Nous orientons donc notre analyse sur la ligne A du tramway.

De manière très schématique, l'évolution de la population se fait selon une structure en étoile à partir du centre-ville élargi (cf. figure 2). Entre 1990 et 1999, quatre principaux quartiers de Strasbourg ont vu leur population augmenter : Roberstau, Gare, Koenigshoffen, Neudorf pour la commune de Strasbourg auxquels il faut ajouter le secteur Est d'Illkirch. A l'exception du quartier de la Gare, d'une partie de Koenigshoffen et du nord d'Illkirch, on n'observe pas de réelle densification de la population autour de la ligne A du tramway. Sur les 18 stations que compte le tronçon initial, seules dix environ sont localisées dans une micro-zone dont l'évolution de population est supérieure à 20%. Les quartiers de Hautepierre et du Sud-Est de la Meinau, pourtant desservis par la ligne A, voient leur niveau de population stagner voire diminuer. Soulignons que l'estimation de l'évolution de la population par micro-zone a été réalisée à partir des données à l'échelle des zones Iris sous l'hypothèse que l'évolution de la population est similaire sur l'ensemble de la surface d'une même zone Iris. Cette hypothèse peut, dans le cas de zones Iris étendues (par exemple, sur la partie Nord-Est d'Illkirch) aboutir à certaines approximations.

Si la présence du tramway ne semble pas, au vu de nos données, un gage de densification, l'amélioration de l'accessibilité qu'elle engendre peut favo-

riser l'installation de population. La comparaison des figures 22 (a) et 22 (b) illustre que les quartiers pour lesquels l'accessibilité en transport commun a augmenté bénéficient pour la plupart d'un accroissement de leur population. Cette corrélation vaut particulièrement pour le quartier de la Robertsau, de la Gare, de Koenigshoffen et du Nord d'Illkirch. Ce constat pourrait être à relier au tramway et plus généralement à la réorganisation du réseau de transport. Si le quartier de la Gare ou le Nord d'Illkirch bénéficient directement du tramway, le quartier de la Robertsau ne présente pas un accès direct au tramway mais il bénéficie de lignes de bus de rabattement. Parallèlement, on observe des zones pour lesquelles l'amélioration du niveau d'accessibilité ne s'est pas « traduite » par un accroissement de population (exemple le quartier de Krutenau au Sud-Est du centre-ville). L'explication tient au fait que l'évolution de l'accessibilité est calculée entre 1993 et 2005 et tient compte de l'ensemble des lignes de tramway et de la réorganisation du réseau de bus associée tandis que l'évolution de la population est établie sur la période 1990-1999. Par ailleurs, certaines zones voient leur population s'accroître alors que l'accessibilité en transports en commun diminue (exemple, le Neudorf). Deux possibilités sont envisagées : une ligne de bus performante reliant le Neudorf au centre a été supprimée au moment de la réorganisation du réseau ou bien d'autres phénomènes indépendants de la politique de transport sont à l'œuvre. Ce dernier constat renforce la prudence avec laquelle nous évoquons les liens entre la politique de transport urbain et l'évolution de la localisation de la population. Si une corrélation peut exister, sur certaines zones du territoire, entre l'amélioration de l'accessibilité d'un quartier en transports en commun et l'augmentation de son niveau de population, il ne faut pas en déduire une causalité. D'une part, comme l'a souligné Offner [138] à plusieurs reprises on ne peut parler « d'effet » sans faire d'abus de langage et omettre les autres phénomènes auxquels est soumis un territoire urbain. D'autre part, le tramway n'est pas seulement un vecteur attractif de population, il en est également la conséquence.

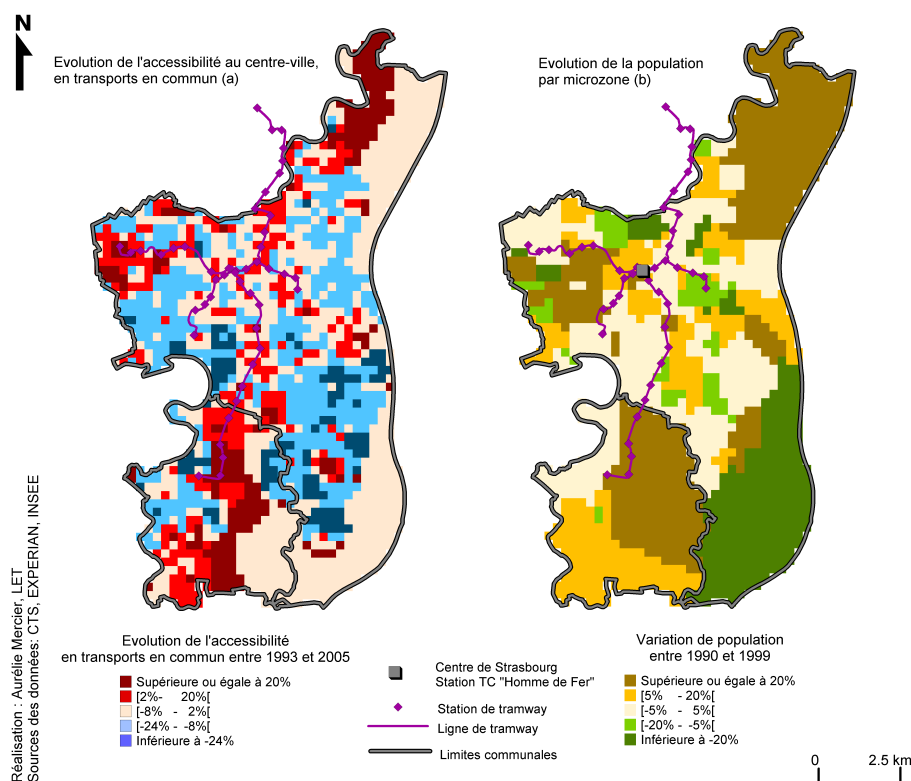


FIG. 22 – Evolution conjointe de l'accessibilité au centre-ville et de la population

## IV.2 Le tramway comme vecteur de réduction des inégalités territoriales ?

La réorganisation du système de transport à Strasbourg répond à l'objectif du PDU qui insiste sur le renforcement de l'accessibilité des quartiers enclavés. L'étude de l'impact du tramway sur la réduction des inégalités territoriales permet d'évaluer l'atteinte de cet objectif. Pour ce faire, nous menons une analyse en trois temps pour souligner dans quelle mesure le tramway a permis de gommer l'inadéquation entre densité de population et niveau d'accessibilité qui a marqué les communes de Strasbourg et, dans une moindre mesure, d'Illkirch.

#### IV.2.1 Gommer l'inadéquation entre niveau d'accessibilité et densité de population

La figure 23 rapproche le niveau d'accessibilité aux emplois, en transports en commun en 1993, du niveau de population en 1990 pour chacune des 1603 microzones composant notre territoire d'étude. Elle illustre que, parmi les 40% du territoire les plus peuplés (soit avec une population par microzone supérieure à 2090 habitants), 39% bénéficient d'une accessibilité supérieure ou égale à 45 et 18% présentent un niveau d'accessibilité supérieur à 60. Les zones densément peuplés et très accessibles sont localisées dans le centre-ville élargi (quartiers de l'Esplanade avec le centre universitaire, de l'Orangerie, des Contades). A l'inverse, plus on s'éloigne du centre-ville moins les zones sont accessibles et ce, malgré leur forte densité de population. Parmi les zones densément peuplées (plus de 3000 habitants par microzone) et faiblement accessibles (indice inférieur à 45), on retrouve principalement les quartiers du Polygone (au Sud-Est de Strasbourg), de HautePierre (à l'Ouest de Strasbourg) et de la Cité de l'Ill (au Nord-Ouest de Strasbourg). Nous pouvons également citer le cas du secteur Est d'Illkirch dont le niveau d'accessibilité est inférieur à 27. Toutefois, dans ce dernier cas, il ne faut pas oublier que nous raisonnons en termes d'accessibilité au centre-ville de Strasbourg et que les habitants d'Illkirch bénéficient d'un centre-ville ainsi que d'un vivier d'emplois potentiels dans leur commune.

Les quartiers densément peuplés et peu accessibles sont essentiellement, voire exclusivement, composés de logement sociaux. Le Polygone et la Cité de l'Ill présentent un parc composé à plus de 90% de logements sociaux tandis que pour HautePierre le taux atteint 80%. En effet, le parc de logements sociaux de Strasbourg a été construit à partir des années 60 sur de grandes emprises foncières aux frontières de la commune. L'enjeu pour ces quartiers est donc double. L'amélioration de l'accessibilité en transport en commun ne vise plus uniquement à résorber une inégalité territoriale mais également à offrir à des individus qui n'ont souvent pas un véhicule à disposition, un niveau d'accès à l'emploi comparable à celui des individus motorisés. De fait, un faible niveau d'accessibilité aux aménités urbaines (emplois, équipements) peut être un facteur explicatif de pauvreté [155] et de non-participation au marché du travail [166]. On retrouve l'un des objectifs du PDU qui est de « renforcer la cohésion sociale et territoriale, en mettant à disposition du plus grand nombre des moyens de déplacement ». Gardons-nous toutefois

d'assimiler logement social et faible accessibilité comme nous le démontront le quartier de l'Espalanade, localisé dans le centre-ville, et le quartier de l'Elsau.

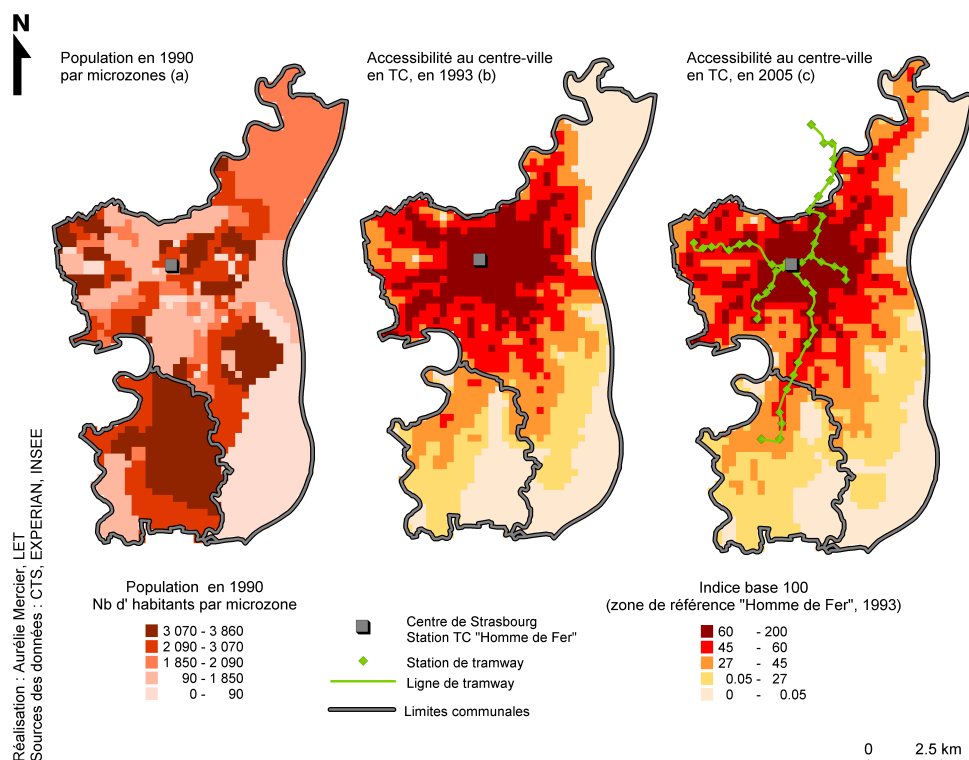


FIG. 23 – Evolution de l'accessibilité en centre-ville au regard de la localisation de la population en 1990

#### IV.2.2 Une politique de transports favorable aux quartiers excen- trés ?

A la suite du constat précédent, nous cherchons à savoir si les quartiers ayant bénéficié de la réorganisation du réseau de transports en commun sont ceux pour lesquels nous avons souligné une inadéquation entre densité de population et niveau d'accessibilité. Au vu de la figure 24 (c) nous pouvons dégager une tendance globale qui souligne une amélioration de l'accessibilité en transports en commun (entre 1993 et 2005) pour trois grands secteurs de l'aire d'étude que sont les quartiers de la Robsertsau, de Hautepierre (partie

Sud), et d'une « bande » centrale d'Illkirch traversant la commune du Nord au Sud. A côté de ces quartiers, on trouve des zones localisées de façon plus ponctuelle sur le territoire et qui ont vu leur niveau d'accessibilité s'améliorer. Ainsi, ce sont 26% du territoire qui ont vu leur niveau d'accessibilité en transports en commun s'améliorer entre 1993 et 2005 tandis que pour 40% du territoire le niveau d'accessibilité est resté sensiblement identique.

Excepté pour la partie Est de la commune d'Illkirch ou, dans une moindre mesure, pour le quartier de HautePierre, il est difficile d'observer une corrélation entre les quartiers « enclavés » en 1990 et les quartiers qui ont vu leur niveau d'accessibilité en transports en commun s'améliorer. Ainsi, même pour le quartier de HautePierre ce ne sont pas exactement les zones qui présentaient un faible niveau d'accessibilité (plutôt l'Ouest du quartier) qui ont vu leur niveau d'accessibilité s'améliorer (la partie Sud). Il faut souligner toutefois qu'en raison de la typologie physique du quartier il n'est pas possible de « coller » au plus près les infrastructures de transport aux habitations.

Il ne faut pas conclure de ce constat sur l'accessibilité que l'impact de la réorganisation du réseau de transport est marginal. Si elle ne se traduit pas nécessairement par une amélioration de l'accessibilité, la mise en place du tramway et la création de lignes de bus de rabattement a généré des gains de temps de transport pour les déplacements à destination du centre-ville (figures 24 (a) et (b)). Ainsi, depuis 95% du territoire, les temps de transport (en transports en commun) vers le centre sont restés équivalents ou bien ont diminué suite à la mise en place de la politique. Si l'on reprend les quartiers « défavorisés » mentionnés sous-section IV.2.1, on constate qu'excepté le Polygone, pour qui le temps de transport reste équivalent, la politique de transport se traduit par une amélioration du temps de déplacement de 10% à 20%. Les résultats en termes d'accessibilité s'expliquent par un accroissement du coût du déplacement tant sur le plan monétaire, avec une hausse de 9% du coût d'un déplacement en transports en commun, que de la valeur du temps qui a augmenté de 12%. Les gains de temps procurés par une amélioration du réseau de transports en commun ne sont donc pas suffisants pour compenser l'accroissement des coûts associés<sup>54</sup> et maintiennent en cela des disparités entre quartiers.

---

<sup>54</sup>L'accroissement des coûts de 20% est supérieur à l'accroissement du revenu de 1.20%.

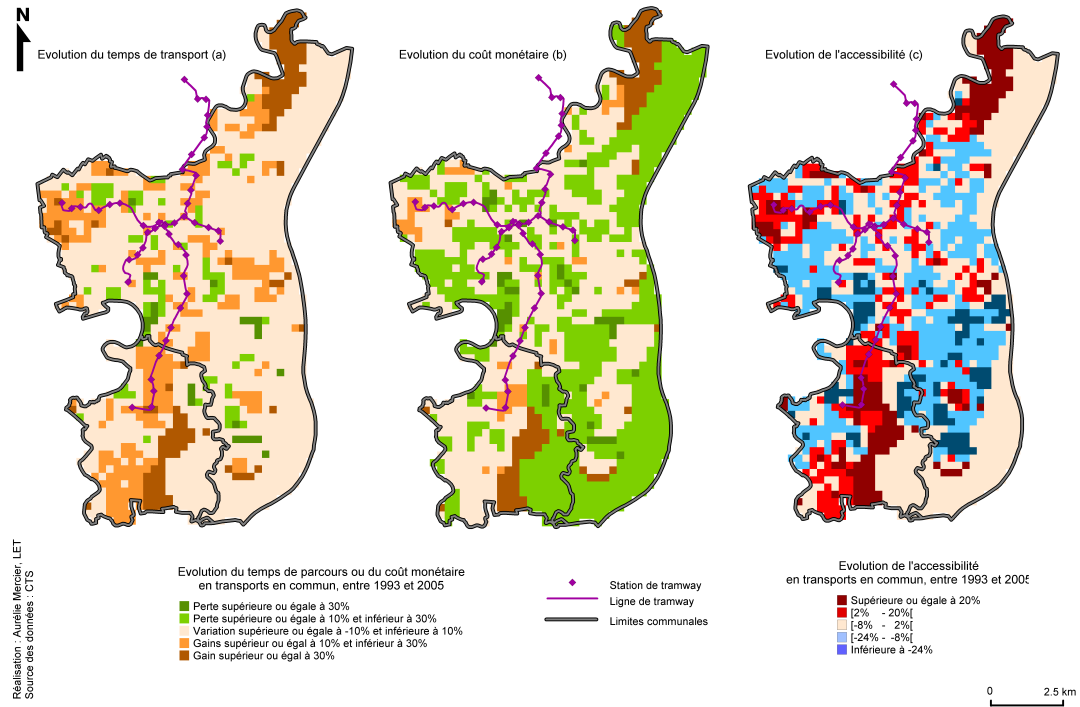


FIG. 24 – Evolution de l’accessibilité en transports en commun, au centre ville, et de ses composantes

### IV.2.3 Des disparités qui subsistent

L’amélioration de l’accessibilité du centre ville en transports en commun depuis les quartiers excentrés densément peuplés ne doit pas masquer les disparités qui persistent entre les quartiers du centre et ceux de la périphérie. La figure 23 (c) illustre qu’en dépit de la réorganisation du réseau de transports collectifs, l’accessibilité depuis les quartiers excentrés reste moins bonne que l’accessibilité depuis les zones centrales. Les quartiers excentrés et caractérisés par un habitat social dominant, dont le désenclavement constituait une priorité du PDU, restent parmi les 60% du territoire les moins accessibles. Le quartier du Polygone se situe pour une partie dans les 20% du territoire les moins accessibles. Il est toutefois intéressant de noter qu’au sein même d’une zone Iris on observe une évolution du niveau d’accessibilité. L’exemple de la



Cité de l'Ill montre que la réorganisation du réseau de bus et de tramway, avec la mise en place du tramway a bénéficié à la partie Ouest de la Cité de l'Ill tandis que le secteur Est dont, la desserte en bus a été détournée, voit son accessibilité diminuer. L'« effet tramway » se retrouve également dans la partie Est du quartier de Hautepierre qui bénéficie désormais, en 2005, d'un niveau d'accessibilité supérieur à 45 contre 27 en 1993. Tant pour la Cité de l'Ill que pour Hautepierre, la réorganisation du réseau « colle » davantage à la localisation de la population. Ainsi, la ligne A du tramway dessert l'Ouest de Hautepierre et l'arrêt Hautepierre se situe à moins de 250 mètres des habitations, les résidents de la Cité de l'Ill doivent parcourir au maximum 500 mètres pour accéder à la ligne C du tramway.

La desserte de 30% de la population de la Communauté Urbaine de Strasbourg par le tramway [4] ne parvient pas à masquer l'ensemble des inégalités territoriales présentes depuis plusieurs décennies. Malgré une réduction de la distance-temps des déplacements vers le centre-ville, la perception des temps et coûts de déplacement en transports en commun n'entraîne pas le même rapport à l'accessibilité aux emplois selon que l'on habite le centre ou sa périphérie.

\*  
\* \*

Cette troisième section replace la mise en service du tramway dans une dimension spatiale pour analyser l'importance que peut revêtir une ligne de transport en commun en site propre de surface dans l'organisation urbaine.

Elle envisage tout d'abord le tramway comme un outil de gestion urbaine pour montrer que la réorganisation du réseau de transports en commun a permis de maintenir voire de renforcer l'idée d'un centre-ville de type « parc d'attractions urbain » où la voiture particulière aurait d'autant moins sa place que l'accessibilité au centre depuis nombre de quartiers périphériques est meilleure avec les modes collectifs. La corrélation entre densification des quartiers et bonne accessibilité en transports en commun pourrait d'ailleurs confirmer l'importance qu'accordent politiques et habitants à la liaison en transports en commun entre quartiers périphériques et centraux.

De manière générale, si renforcer l'accessibilité depuis les zones périphériques vers le centre-ville en transports en commun est une priorité du PDU,

l'accent est tout particulièrement mis sur la réduction des inégalités d'accès depuis les différents quartiers périphériques. En effet, la situation au début des années 90 souligne que plus on s'éloigne du centre-ville, moins les zones sont accessibles et ce, malgré une forte densité de population pour certaines d'entre elles. Malgré ce constat, les résultats de 2005 laissent apparaître que les quartiers enclavés ne sont pas nécessairement ceux qui ont connu la plus forte variation d'accessibilité, les gains de temps ne permettant souvent pas de compenser la hausse des coûts de transport.

## V Conclusion du chapitre 5

Le Plan de Déplacements Urbains de Strasbourg, daté de juin 2000 mais élaboré depuis la fin des années 80, nous sert de support de référence pour mener une évaluation partielle de la politique de transport mise en place à Strasbourg dans les années 90. L'adjectif « partielle » doit ici être entendu à deux niveaux. Tout d'abord notre évaluation ne porte pas sur une comparaison entre les résultats anticipés et les résultats réellement obtenus : nous analysons au travers du prisme de l'accessibilité l'adéquation entre les objectifs annoncés dans le PDU et les mutations opérées « sur le terrain ». Par ailleurs, notre travail, en raison de son angle d'approche, laisse dans l'ombre certaines des actions entreprises (par exemple, la réduction de la voirie accessible aux automobiles en centre-ville intervenue avant 1993 n'est pas prise en considération dans notre étude) et des répercussions de la réorganisation du réseau de transports en commun (par exemple, les pratiques de mobilité). En gardant à l'esprit l'idée selon laquelle une nouvelle infrastructure de transport ne peut avoir à elle seule des effets structurants qui impacteraient l'organisation urbaine, nous cherchons à savoir si la réorganisation du réseau de transports en commun permet de répondre en partie à trois des objectifs définis par le PDU concernant l'amélioration de l'accessibilité en transports en commun, notamment à destination du centre-ville et ce, pour renforcer le poids des quartiers centraux.

En réponse au premier objectif qui consiste à réduire le différentiel d'accessibilité entre automobile et transports en commun, nous notons un accroissement du niveau d'accessibilité globale aux emplois en transports en commun pour 1/3 des actifs et une baisse de ce même niveau d'accessibilité pour 1/3 des actifs. Ces chiffres méritent toutefois d'être nuancés dans la

mesure où 82 % des actifs bénéficient d'un bon niveau d'accessibilité à l'ensemble du territoire s'ils utilisent les transports en commun, d'une part, et où les perdants sont essentiellement localisés dans les zones centrales qui sont parmi les plus accessibles, d'autre part. La variation de surplus est toutefois positive pour moins de la moitié du territoire. L'analyse à un niveau zonal très fin met ainsi en relief l'impact des itinéraires de lignes et de la localisation des arrêts sur le niveau d'accessibilité. L'amélioration de l'offre en transports en commun ne permet pas à ces derniers de concurrencer l'automobile notamment en raison des ruptures de charges, vécues comme pénalisantes pour les usagers, et de la perte de temps qui en découle.

Les deuxième et troisième objectifs sont évalués à partir de mesures d'accessibilité au centre-ville pour analyser comment, en renforçant l'accessibilité au centre-ville, le tramway peut contribuer à façonner une ville organisée autour d'une centralité dominante. Un premier constat nous amène à souligner que la mise en service du tramway, associée aux politiques de stationnement, a permis de maintenir un niveau d'accessibilité au centre-ville souvent meilleur en transports collectifs qu'en voiture particulière. La question du territoire nous amène à un second constat relatif au rôle que peut jouer le tramway dans la réduction des inégalités spatiales. L'amélioration de l'offre de transports en commun s'est traduite par une amélioration ou une stagnation de l'accessibilité au centre-ville, en transports en commun, pour plus de la moitié du territoire comprenant certains quartiers d'habitat social. Toutefois les inégalités persistent et les quartiers excentrés et densément peuplés restent, parmi les territoires habités, ceux qui bénéficient d'un niveau d'accessibilité au centre-ville parmi les plus faibles.

L'évaluation de la politique de transport menée dans ce chapitre reste descriptive dans la mesure où elle porte un regard rétrospectif sur l'évolution de l'accessibilité appuyé sur une série d'hypothèses fortes. Si elle met en évidence le rôle positif joué par le tramway pour orienter les pratiques de déplacements et le développement urbain, elle souligne aussi qu'à l'échelle de l'aire d'étude, l'automobile offre, bien souvent, une meilleure accessibilité que les transports collectifs et ce d'autant plus que la perception des coûts de déplacements est variable en fonction des individus. Dès lors, nous orientons notre travail vers une analyse prospective pour envisager des solutions visant à renforcer l'accessibilité en transports en commun et évaluer dans quelle mesure la perception des coûts généralisés peut modifier les résultats

## *CHAPITRE 5*

---

d'accessibilité présentés dans ce chapitre.

# Chapitre 6 : Simulations autour des mesures d'accessibilité pour une meilleure définition des politiques de transport

## I Introduction

Le chapitre précédent a montré que la politique de transport mise en place à Strasbourg dans les années 90 pouvait répondre aux objectifs fixés par le Plan de Déplacements Urbains. Cette évaluation, menée *a posteriori*, se veut objective en intégrant, tant au niveau de l'offre de transport individuel et collectif que des opportunités d'emplois, des données cohérentes avec la réalité et provenant de sources fiables. Par souci méthodologique, elle envisage les répercussions de la réorganisation du réseau de transports en commun pour un individu « standard » dont seule sa localisation le différencie des autres individus. Par souci d'objectivité, elle analyse la cohérence de la politique avec les objectifs du PDU sans simuler des scénarios alternatifs qui auraient pu être réalisés.

Ce chapitre vise dès lors à mobiliser les indicateurs d'accessibilité pour élargir l'évaluation menée précédemment dans deux directions et ce, afin d'orienter les politiques de transport sur les arbitrages modaux à partir d'une réflexion à l'échelle spatiale. Les trois sections qui suivent doivent être envisagées par le lecteur comme un second angle d'approche de l'évaluation qui se concentrerait sur la nécessaire prise en compte de l'hétérogénéité de la population pour envisager les solutions possibles afin de rééquilibrer davantage la concurrence modale. Ce chapitre ne doit pas s'interpréter comme

une approche « anti-voitures » ou « pro-transports en commun ». Il propose seulement quelques pistes dans l'optique d'une réduction de l'utilisation de l'automobile, sous la contrainte environnementale (Bertolini *et al.* [17]) avec une croissance soutenable (Ayong Le Kama, [9]).

La première direction s'oriente vers une prise en compte différenciée de l'accessibilité aux emplois en fonction des différentes catégories d'actifs. En menant une analyse semi-désagrégée, nous répondons à une critique émise par Dong *et al.* [60] qui soulignent que le niveau d'accessibilité gravitaire est le même pour l'ensemble de la population d'une même zone, indifféremment de l'hétérogénéité de cette population. Les caractéristiques socio-économiques des individus seront intégrées au travers de deux analyses. Tandis que l'évaluation menée au chapitre 5 considère que tous les individus ont la même perception du coût généralisé, nous envisageons dans la seconde section une sensibilité au coût de déplacement variant en fonction du sexe et du niveau d'étude des actifs. Dans une troisième section, l'analyse semi-désagrégée portera sur les types d'emplois que peuvent potentiellement occuper les actifs. Au lieu de considérer, comme précédemment, que l'ensemble des actifs peut occuper l'ensemble des emplois proposés, nous déterminerons l'accessibilité aux emplois des différents secteurs d'activité.

La seconde direction propose quant à elle une série de scénarii pour réduire le différentiel d'accessibilité entre la voiture particulière et les transports en commun. Au regard des objectifs du Plan de Déplacements Urbains, elle part du constat que la réduction de ce différentiel, générée par l'amélioration de l'offre de transports en commun, est insuffisante pour offrir une alternative crédible à l'automobile. La section IV examinera ainsi l'impact de trois scénarii, impactant le coût généralisé, sur les termes de la concurrence modale.

## II Sensibilité au coût généralisé et perception du niveau d'accessibilité

L'évaluation de la politique de transport menée au chapitre 5 en considérant un individu « standard » montre ses limites dans la mesure où la valeur du paramètre *beta* reste constante quelles que soient les caractéristiques socioéconomiques des individus. L'objectif de cette section consiste à

contourner cet écueil en montrant comment intégrer les différentes sensibilités au coût généralisé dans le calcul de l'accessibilité et ainsi envisager leurs répercussions sur la perception qu'ont les différents actifs de la réorganisation du réseau de transports en commun. Nous parlerons alors d'accessibilité différenciée, correspondant au niveau d'accessibilité calculé avec un paramètre *beta* variant d'un individu à l'autre, en opposition au niveau d'accessibilité standard, correspondant au niveau d'accessibilité calculé avec un paramètre *beta* unique de 0.19 comme au chapitre précédent.

Nous travaillons au cours de cette section à partir des mesure d'accessibilité en transports en commun aux emplois du centre-ville. Le choix de ce « périmètre » se justifie par la volonté de poursuivre l'évaluation de la politique de transport sous l'angle spatial telle que présentée dans le chapitre précédent. La section est organisée en trois parties. Suivant la méthodologie détaillée et la détermination de la valeur du paramètre *beta* à appliquer pour chaque zone, nous envisageons la perception de la politique de transport par les actifs. Nous avons conclu au chapitre 5 qu'il était difficile d'observer une corrélation entre les quartiers qualifiés d'enclavés au début des années 90 et ceux ayant bénéficié d'une amélioration de l'accessibilité au centre-ville en transports en commun, notamment en raison du coût de transport. Nous verrons alors comment était perçue l'accessibilité dans les différents quartiers et notamment dans ces zones enclavées avant la réorganisation du réseau de transports en commun et l'écart qui persiste entre le niveau d'accessibilité différenciée et standard. Ces différents constats nous serviront de support pour construire deux scénarii visant à placer le niveau d'accessibilité différencié au niveau standard de l'accessibilité voulu par les politiques.

### II.1 Considérations méthodologiques

La valeur du paramètre *beta* s'obtient habituellement par le calage du modèle gravitaire pour chacun des segments de population envisagés. Ainsi au cours du chapitre 4 nous considérons un segment de population unique pour lequel nous déterminons un paramètre de sensibilité au coût de déplacement de valeur 0.19. Cela revient à considérer que la population de chaque quartier présente des caractéristiques socioéconomiques identiques. Pour lever cette limite et intégrer les disparités existantes, nous nous référons au travail de Johansson *et al.* [98] qui intègrent des valeurs du paramètre *beta* différentes en fonction du niveau d'éducation des actifs de chaque zone ainsi que de

leur sexe. Les différentes valeurs prises par le paramètre ont été établies pour calculer l'accessibilité à l'emploi sur un échantillon de 5 municipalités du sud de la Suède. Les différentes valeurs du paramètre  $\beta$  sont présentées dans le tableau 17 :

Catégorie	Valeur de $\beta$
Homme à niveau élevé d'éducation	0.11
Homme à niveau d'éducation moyen	0.15
Homme à niveau d'éducation faible	0.17
Femme à niveau élevé d'éducation	0.15
Femme à niveau d'éducation moyen	0.19
Femme à niveau d'éducation faible	0.23

TAB. 17 – Valeurs du paramètre Beta dans les travaux de Johansson *et al.*

Outre une sensibilité au coût généralisé de déplacement plus élevée pour les femmes que pour les hommes, la lecture du tableau 17 nous enseigne que la valeur du paramètre  $\beta$  diminue avec l'augmentation du niveau d'éducation. Ainsi, les individus seraient d'autant moins sensibles au coût de déplacement que leur niveau d'étude est élevé. Ce constat semble paradoxal dans la mesure où la valeur du temps s'accroît avec le niveau d'éducation (si l'on considère le salaire proportionnel au niveau d'éducation)<sup>55</sup>. D'un côté, la propension à dépenser pour économiser une unité de temps de déplacement augmente avec le niveau d'étude. De l'autre, les individus présentant les niveaux d'éducation les plus élevés sont les moins sensibles au coût généralisé.

Ce paradoxe peut être levé partiellement en rappelant que le coût généralisé d'un déplacement est la somme d'un coût temporel et d'un coût monétaire. Ainsi, les individus bénéficiant d'un niveau d'éducation élevé (et par conséquent, selon notre hypothèse, d'un niveau de salaire supérieur aux individus à niveau d'éducation plus faible) seraient moins sensibles au coût monétaire que les autres. Toutefois, l'explication de ce paradoxe entre valeur du temps et sensibilité au coût généralisé semble essentiellement tenir dans

---

<sup>55</sup>Le rapport du groupe présidé par Marcel Boiteux [44] fait ainsi état, en milieu urbain, d'une valeur du temps croissante avec le salaire brut.



les différences d'aptitudes à la mobilité. Pour Kaufmann [101], les individus sont dotés d'un capital de mobilité (ou motilité) défini comme la manière dont un individu fait sien le champ des possibles en matière de mobilité et en fait usage. Comme le soulignent Bailly et Heurgon [10], la mobilité est un facteur d'inégalités entre les individus qui l'ont intégrée dans leur mode de vie et ceux pour qui elle reste, même à l'échelle du quartier ou de la commune, génératrice d'appréhension et de stress. Pour ces derniers, les freins à la mobilité ne sont pas seulement financiers mais également physiques et cognitifs. Le milieu social est souvent un facteur explicatif des inégalités face à la mobilité et des freins que rencontrent certains individus. Eric Le Breton [114] met ainsi en évidence une catégorie d'individus qualifiée d'« insulaire », généralement peu diplômée et pour qui la mobilité se limite à un rayon de quelques kilomètres. A l'inverse, les individus les plus diplômés n'hésitent pas à faire de la mobilité une ressource clé de leur parcours professionnel en acceptant, notamment, des coûts généralisés de déplacement plus élevés pour occuper un emploi plus qualifié.

### II.1.1 Un double questionnement

Les données dont nous disposons ne nous permettent pas de déterminer de manière fiable le paramètre  $\beta$  par calage du modèle gravitaire pour chaque segment de population. Ce sont ainsi moins de 50% des déplacements recensés dans l'EMD 97 qui peuvent être intégrés dans les calculs en raison du manque d'information sur le niveau d'éducation des individus les réalisant. Pour déterminer un paramètre  $\beta$  différencié selon les individus, nous nous inspirons du travail de Johansson *et al.*. Toutefois, nous retenons dans notre analyse non pas les différentes valeurs de  $\beta$  du travail de Johansson *et al.* mais leur ratio. Notre démarche nous amène à un double questionnement :

1. Comment traduire, à partir des données du RGP 99, dont nous disposons à l'échelle de la zone Iris, les différents niveaux d'éducation proposés par Johansson *et al.* ?
2. A quelle catégorie la valeur « standard » du paramètre  $\beta$  estimée à 0.19 correspondrait elle ?

Ces questions trouvent une réponse dans les deux sous-sections suivantes.

### II.1.2 Répartition de la population active par sexe et niveau d'étude

Nous ne disposons pas de la répartition des actifs en fonction du sexe et du niveau d'étude. Dès lors nous considérons la répartition par le sexe et par le dernier diplôme obtenu de la population de 15 ans ou plus qui n'est pas en cours d'étude. Nous proposons dans le tableau 18 la correspondance entre niveau d'éducation et dernier diplôme obtenu :

Niveau d'éducation	Dernier diplôme obtenu
Niveau élevé d'éducation	Diplôme supérieur à Bac +2
Niveau d'éducation moyen	Bac ou bac +2
Niveau d'éducation faible	Aucun diplôme, CEP, BEPC, CAP/BEP

TAB. 18 – Correspondance entre niveau d'éducation et dernier diplôme obtenu

### II.1.3 Estimation du paramètre $\beta$

Pour estimer les valeurs du paramètre  $\beta$  pour chacune des différentes catégories, nous posons trois hypothèses :

- Hypothèse 1 : la valeur de 0.19 correspond à la valeur moyenne du paramètre d'une femme et d'un homme, tous deux à niveau d'éducation moyen.

Les travaux de Johansson *et al.* aboutissent à une valeur de 0.19 pour le paramètre  $\beta$  associé à une femme à niveau d'éducation moyen et à une valeur de 0.15 pour le paramètre  $\beta$  associé à un homme à niveau d'éducation moyen. La moyenne de ces deux valeurs est de 0.17. On attribue alors la valeur de  $\beta=0.19$  pour les catégories d'individus auxquelles les travaux de Johansson *et al.* aboutissaient à une valeur de 0.17, autrement dit pour les hommes à niveau d'éducation faible. Les valeurs du paramètre  $\beta$  pour les autres catégories d'individus sont ensuite déterminées à partir des ratios issus du tableau 17. Ainsi, dans le tableau 19, la valeur de 0.17 pour une femme à niveau d'éducation faible est calculé de la façon suivante :  $0.17 = (0.19 * 0.15/0.17)$ .

- Hypothèse 2 : la valeur de 0.19 correspond à la valeur du paramètre pour une femme à niveau d'éducation moyen.

Les travaux de Johansson *et al.* faisant également état d'une valeur de  $\beta=0.19$  pour cette catégorie d'individus, les valeurs du paramètre

*beta* ne sont pas modifiées.

- Hypothèse 3 : la valeur de 0.19 correspond à la valeur du paramètre pour un homme à niveau d'éducation moyen.

La valeur du paramètre *beta* pour un homme à niveau d'éducation moyen était de 0.15 dans les travaux de Johansson *et al.*. On attribue donc une valeur de  $beta=0.19$  pour cette catégorie d'individus. De la même façon que précédemment, les valeurs associées aux autres catégories d'individus sont déterminées à partir des ratios issus du tableau 17. Ainsi, dans le tableau 19, la valeur de 0.21 pour un homme à niveau d'éducation faible est calculé de la façon suivante :  $0.21 = (0.17 * 0.19 / 0.15)$ .

Catégorie	$\beta$ , hyp. 1	$\beta$ , hyp. 2	$\beta$ , hyp. 3
Homme à niveau élevé d'éducation	0.12	0.11	0.14
Homme à niveau d'éducation moyen	0.17	0.15	0.19
Homme à niveau d'éducation faible	0.19	0.17	<b>0.21</b>
Femme à niveau élevé d'éducation	<b>0.17</b>	0.15	0.19
Femme à niveau d'éducation moyen	0.21	0.19	0.24
Femme à niveau d'éducation faible	0.26	0.23	0.29

TAB. 19 – Valeurs du paramètre beta sous différentes hypothèses

A partir de ces trois hypothèses, nous calculons l'accessibilité en transports en commun au centre-ville pour chaque zone avec les six valeurs du paramètre *beta*. L'accessibilité de la zone perçue par ses résidents (appelée accessibilité différenciée) est ensuite déterminée au regard du poids de chaque catégorie d'individus dans chacune des 1603 micro-zones de l'aire d'étude.

La figure 25 illustre, pour les trois hypothèses, le taux de variation entre l'indice d'accessibilité standard, tel que calculé jusqu'à maintenant, et l'indice d'accessibilité différenciée qui tient compte des diverses catégories d'individus. Dans le cas de l'hypothèse 3, l'accessibilité différenciée est toujours inférieure ou égale à l'accessibilité standard. En effet, la valeur prise par le paramètre *beta* est supérieure à 0,19 pour l'ensemble des différentes catégories d'individus, à l'exception des « hommes à niveau d'éducation élevé ». Par ailleurs, cette hypothèse ne permet pas d'établir une réelle différenciation des quartiers puisque, à l'exception des zones périphériques pas ou peu peuplées et du centre-ville, l'ensemble des zones présente une accessibilité différenciée

d'au moins 10% inférieure à l'accessibilité standard. La figure (b), traduisant les résultats issus de l'hypothèse 2, illustre une accessibilité différenciée supérieure de 1% à l'accessibilité standard sur 95% du territoire et ce, en raison d'un paramètre *beta* de valeur inférieure ou égale à 0,19 pour l'ensemble des catégories d'individus à l'exception des « femmes à niveau d'éducation faible ». Aussi, opterons-nous dans la suite de notre analyse pour l'hypothèse 1. Pour trois des six catégories d'individus, le paramètre est inférieur à 0,19. Cette hypothèse permet de mettre en évidence les disparités entre quartiers et reste, malgré ses limites, la plus représentative de la réalité. Ainsi, en raison des valeurs appliquées pour le paramètre *beta*, les zones pour lesquelles l'accessibilité différenciée est supérieure ou égale à l'accessibilité standard sont majoritairement peuplées par des personnes à niveau d'éducation élevé et moyen (pour les hommes). A l'inverse, les zones pour lesquelles l'accessibilité différenciée est inférieure à l'accessibilité standard sont majoritairement peuplées par des personnes à niveau d'éducation moyen (pour les femmes) ou faible et pour lesquelles la sensibilité au coût de déplacement est supérieure à 0.19.

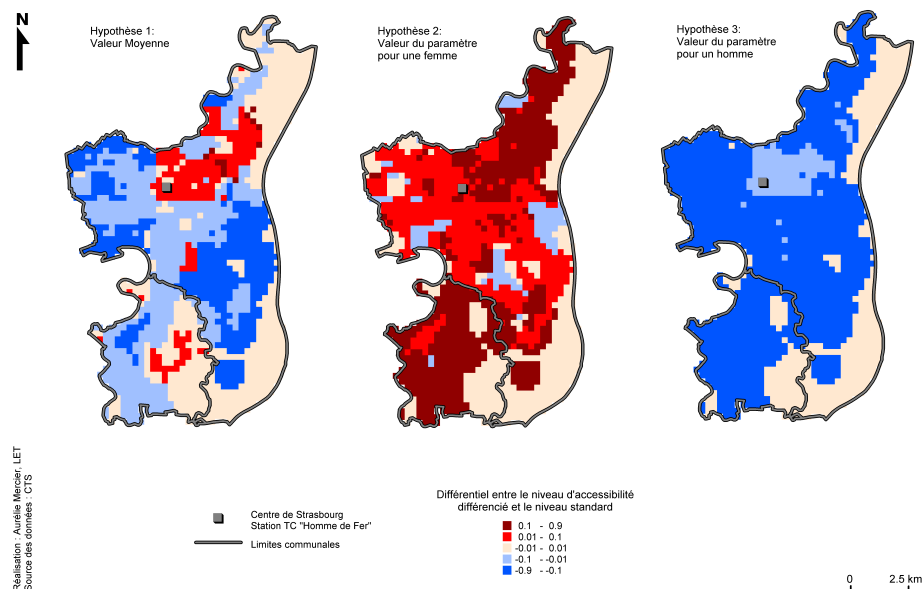


FIG. 25 – Impact de la valeur standard du paramètre  $\beta$  sur la représentation du différentiel entre accessibilité standard et accessibilité différenciée

## II.2 Perception de l’accessibilité et politique de transport

### II.2.1 Différentes perceptions de l’accessibilité selon la typologie des quartiers

La figure 25 met en évidence les différents niveaux de perception de l’accessibilité en fonction de la typologie des quartiers, avant la réorganisation du réseau de transports en commun. En considérant l’hypothèse 1 retenue ci-dessus, pour plus de 70% des actifs occupant 55% du territoire le niveau d’accessibilité différencié est inférieur au niveau standard. Autrement dit, ces actifs percevraient un niveau d’accessibilité inférieur à celui perçu par un individu standard. Plus en détail, nous observons que pour 28% des actifs le niveau d’accessibilité différencié est d’au moins 10% inférieur au niveau standard. Ces actifs sont localisés dans des quartiers périphériques où la part

de logements sociaux excède souvent 33% tels Hautepierre, le Ploygone ou encore la Cité de l'Ill [2]. On distingue toutefois deux types de quartiers au sein desquels les actifs ont le sentiment d'être « enclavés ». Il y a d'une part les quartiers dont le niveau d'accessibilité standard ne dépasse pas 45 et dont la typologie sociale renforce le sentiment d'un faible niveau d'accessibilité (partie Ouest de Hautepierre, partie Nord de la Cité de l'Ill, par exemple) et d'autre part les quartiers dont le niveau d'accessibilité est bon (supérieur à 45) mais perçu à un niveau inférieur par la population, comme dans la partie Est de Hautepierre, les quartiers du Roethig ou de l'Elsau.

Les quartiers pour lesquels les actifs résidents tendent à sur-estimer le niveau d'accessibilité sont situés dans le centre-ville élargi de Strasbourg et s'étendent jusqu'au quartier de Robertsau. Au total ce sont ainsi 17% des actifs répartis sur 10% du territoire qui sont moins sensibles au coût généralisé du déplacement qu'un individu « moyen » et pour qui l'accessibilité différenciée est de fait supérieure à l'accessibilité standard. Précisons toutefois que ces actifs « perçoivent » un niveau d'accessibilité supérieur de 1% à 10% au niveau standard contrairement aux 28% d'actifs qui « sous-évaluent » leur niveau d'accessibilité de 10% à 90%.

### II.2.2 Un nouveau paramètre pour évaluer la politique de transport

A partir de ces constats, il convient de reposer la question de l'évaluation de la politique de transport menée à Strasbourg en s'interrogeant sur la portée réelle de la réorganisation du réseau de transports en commun. Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que le Plan de Déplacements Urbains déterminait comme enjeu majeur la réduction des inégalités d'accès entre les quartiers périphériques et ceux du centre-ville. Or, il apparaît que certains de ces quartiers périphériques présentent une typologie sociale telle que leurs habitants (actifs) sont plus sensibles aux coûts de déplacement qu'un actif « moyen » résidant au sein du périmètre d'étude. Dès lors que le niveau d'accessibilité différencié depuis certains quartiers est inférieur au niveau standard, nous pouvons repenser l'évaluation de la politique de transports au travers d'un double questionnement :

1. L'amélioration du réseau de transports en commun favorise-t-elle les quartiers perçus comme enclavés (notamment ceux dont le niveau d'accessibilité standard est inférieur à 45) ?

2. La sensibilité au coût de déplacement impacte-t-elle réellement le niveau d'accessibilité ?

Pour répondre à la première question, nous mettons en perspective l'évolution de l'accessibilité en transports en commun et le différentiel entre niveau d'accessibilité standard et différencié (figure 26). La réorganisation du réseau de transports en commun a bénéficié aux quartiers perçus comme enclavés de Hautepierre, Cronembourg et Cité de l'Ill, si ce n'est sur l'ensemble de leur surface, au moins pour certains îlots. La mise en service du tramway a ainsi permis aux quartiers de Hautepierre et de la Cité de l'Ill de bénéficier d'une variation d'accessibilité pouvant atteindre plus de 20% tandis que l'amélioration de l'accès depuis Cronembourg est à relier à la plus grande performance du réseau de bus. A l'inverse de ces trois quartiers, les autres zones perçues comme enclavées n'ont pas bénéficié d'une amélioration de leur niveau d'accessibilité en transports en commun. Le quartier de l'Elsau, la zone s'étendant de Museau jusqu'au Neuhof ou bien le centre d'Illkirch ont vu leur niveau d'accessibilité diminuer et ce, malgré leur forte densité de population (plus de 2 000 habitants par micro-zone de 250 mètres x 250 mètres) et leur faible accessibilité en 1993. Tout comme dans le chapitre précédent, il convient d'apporter quelques nuances dans la mesure où la perte d'accessibilité n'est pas, dans la plupart des cas, à relier à une augmentation des temps de transport mais à un accroissement des coûts monétaires. La politique de transport mise en place à Strasbourg se traduit par une amélioration de l'accessibilité à proximité des lignes de tramway en laissant de côté des quartiers densément peuplés par des actifs très sensibles au coût de déplacement. Dès lors, nous pouvons nous poser la question de l'impact réel de la sensibilité au coût de déplacement sur le niveau d'accessibilité.

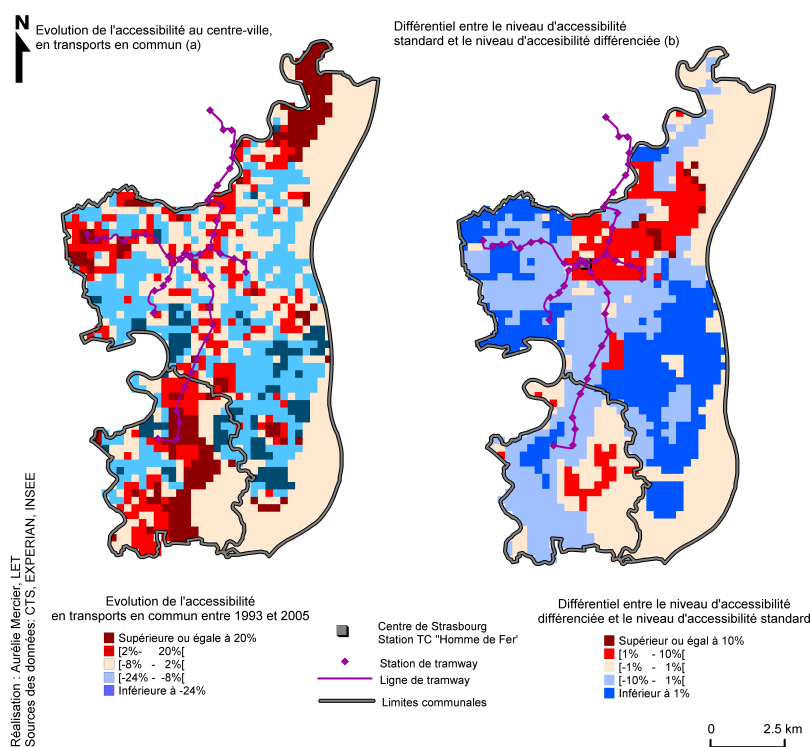


FIG. 26 – Comparaison entre évolution de l'accessibilité et différentiel d'accessibilité standard et différencié

La comparaison entre les cartes d'accessibilité standard et d'accessibilité différenciée, au centre-ville en transports en commun, après la réorganisation du réseau de transports en commun laisse apparaître la même structure en doigts de gant et un niveau d'accessibilité décroissant avec la distance au centre-ville (figure 27). Les principales différences résident dans la réduction de la taille du périmètre central très accessible (indice supérieur à 60) ainsi que dans la disparition de micro-zones très accessibles dans les quartiers de la première couronne. En effet, les quartiers de Cronembourg, de Hautepierre et de la Cité de l'Ill présentent des micro-zones caractérisées par une très bonne accessibilité standard (indice supérieur à 60 ou 45) et une accessibilité différenciée moindre (indice respectivement supérieur à 45 ou 27). Si l'on se concentre sur la zone s'étendant de Museau jusqu'au Neuhof, on ne constate en revanche pas de modification importante du niveau d'accessibilité même si, là encore, la tendance conduit à une baisse du niveau d'accessibilité.



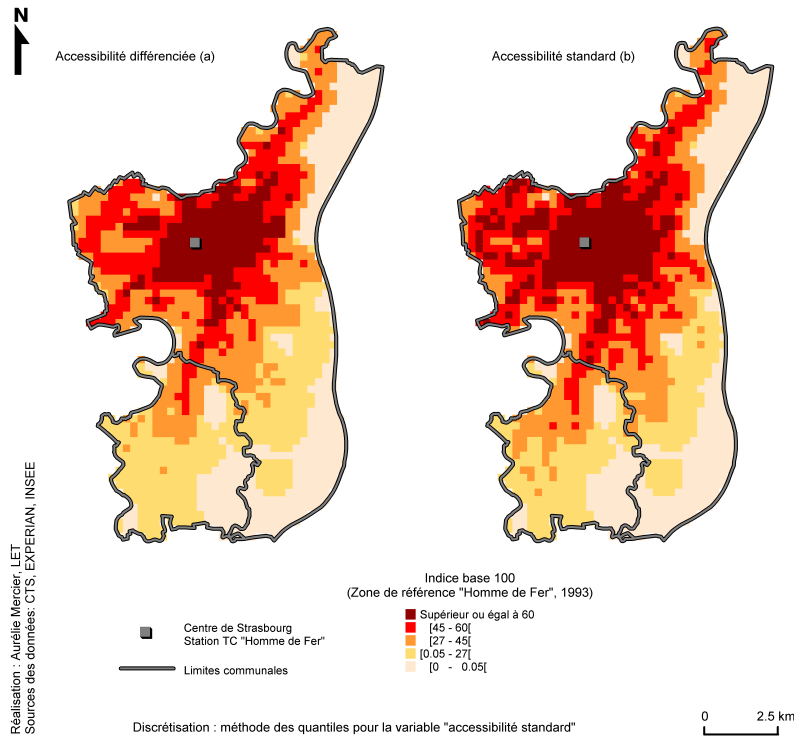


FIG. 27 – Accessibilité différenciée et accessibilité standard, en transports en commun au centre-ville, en 2005

### II.3 Quel(s) scénario(s) pour homogénéiser les niveaux d'accessibilité ?

Partant du constat précédent selon lequel les individus ne perçoivent pas leur niveau d'accessibilité tel que l'envisage l'évaluation économique, et plus généralement le politique ou l'aménageur, nous nous intéressons aux mécanismes pouvant être mobilisés pour combler cet écart. Sans omettre le fait que les caractéristiques sociales peuvent constituer un frein au déplacement [140] et [114], nous concentrerons notre travail sur deux leviers plus « mécaniques » que sont le temps de transport et le coût monétaire du déplacement. Nous posons ainsi la question de la réduction de temps de parcours (en transports en commun à destination du centre-ville) et de coût monétaire (équivalent au prix du ticket) à appliquer réellement pour que le niveau d'accessibilité différencié soit, pour chacune des zones, équivalent au niveau

d'accessibilité standard présenté figure 27 (b). Autrement dit, dans quelle mesure la réorganisation du réseau de transports doit-elle s'accompagner d'une réduction des coûts pour que le niveau d'accessibilité différencié soit identique au niveau standard prévu initialement par les politiques ?

Pour réaliser ce travail, nous adoptons une démarche par tâtonnement afin d'équilibrer le niveau d'accessibilité différencié avec le niveau standard tel qu'envisagé initialement et illustré figure 27 (b). Une variation des temps ou coûts de transports n'aboutissant pas toujours à une stricte égalité des niveaux d'accessibilité, nous optons pour une marge de plus ou moins 5%. Ce travail est mené sur l'ensemble des 1603 micro-zones qui composent notre aire d'étude, y compris celles pour lesquelles le niveau différencié est supérieur au niveau standard. L'intégration de ces dernières zones explique pourquoi le coût ou le temps de transport sont parfois supposés croître.

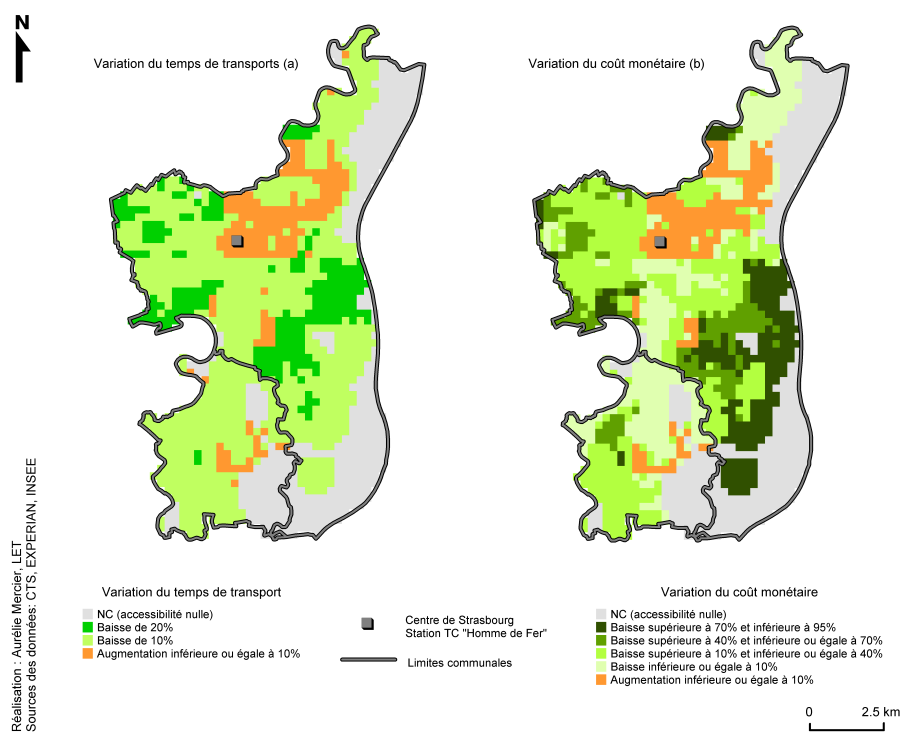


FIG. 28 – Deux alternatives pour homogénéiser les niveaux d'accessibilité standard et différenciée

La carte 28 présente successivement les variations de temps de transport et de coût monétaire à appliquer dans chaque micro-zone pour équilibrer les niveaux d'accessibilité standard et différencié. On retrouve l'analogie entre la variation (positive ou négative) à appliquer au temps ou coût de transport et le différentiel (positif ou négatif) entre les niveaux d'accessibilité différencié et standard. Ainsi, pour les quartiers du centre-ville élargi, le temps ou le coût monétaire doivent être augmentés dans la limite de 10% pour équilibrer les niveaux d'accessibilité. A l'inverse, pour les quartiers au sein desquels l'accessibilité différenciée est inférieure à l'accessibilité standard, les coûts temporel et monétaire doivent être réduits de 10% au moins. Parallèlement, on observe des zones pour lesquelles en dépit d'un différentiel nul, les coûts doivent diminuer. Cela s'explique par le fait qu'un différentiel nul renvoie à un écart de plus ou moins 1% entre accessibilité différenciée et standard.

Pour chacune des 1603 micro-zones dont le niveau d'accessibilité initial est non nul, il est possible de combler l'écart entre le niveau d'accessibilité standard et différencié par une réduction des coûts. Toutefois, tandis que la baisse du temps de transport atteint au maximum 20%, la réduction du coût monétaire peut atteindre plus de 90%. A une baisse de 10% du temps de transport correspond généralement une baisse de 10% à 40% du coût monétaire. L'explication de ce résultat tient au fait que le coût monétaire d'un déplacement en transports en commun (de 0.89 €) est indépendant de la distance et du temps de déplacement tandis qu'une minute de déplacement (en véhicule ou non) est valorisée à 0.19 €. Au-delà de 5 minutes de déplacement, le coût temporel devient supérieur au coût monétaire. Or, le temps moyen d'un déplacement en transport en commun à destination du centre-ville est de 42 minutes. Précisons que les variations de coût monétaire ou temporel appliquées à une zone sont déterminées en tenant compte de l'ensemble des déplacements depuis une zone  $i$  à l'ensemble des zones  $j$  formant le centre-ville. Par exemple, une baisse de 20% des temps de déplacement depuis le quartier de Hautepierre revient à une baisse de 20% des temps sur 143 liaisons Origine-Destination, le centre-ville comportant 143 micro-zones. Sur la base du temps de parcours moyen depuis le quartier de Hautepierre, cela revient à un gain de 7 minutes. La réduction du temps de déplacement peut se faire sur le temps en véhicule en augmentant la vitesse des véhicules ou bien sur le temps d'attente aux stations en améliorant la coordination entre les véhicules ou bien leur fréquence. Toutefois, la réduction du temps de transport et de ses composantes nécessite la réorganisation du système

de transport en commun voire une modification de l'infrastructure que nous excluons de notre travail en raison des coûts financiers qu'elle occasionnerait.

L'amplitude de variation du coût monétaire est plus grande que celle du temps de transport en raison de la constance de ce coût et de son niveau relativement faible par rapport à la valeur du temps. Sur plus de 20% du territoire, la baisse du coût monétaire est supérieure à 40%. Pour que les actifs résidant dans ces zones perçoivent leur niveau d'accessibilité tel que le prévoit le politique, il faudrait que le prix du ticket soit inférieur à 0.54 €. Sur les 11% du territoire pour lesquels le différentiel entre niveau d'accessibilité différencié et standard est le plus important, le prix du ticket pour les actifs serait inférieur à 0.3 €. On s'oriente ainsi vers une quasi gratuité des transports en commun pour les actifs résidant de certains quartiers tandis que les actifs résidant au centre-ville verraient leur coût augmenter. La question qui se pose dès lors est celle d'une possible compensation entre les actifs résidant dans les différents quartiers, sans intervention de la collectivité.

Pour évaluer la possibilité et les conditions d'une compensation entre les deux catégories d'actifs présentées ci-dessus, nous posons les hypothèses suivantes :

- Hypothèse 1 : les calculs reposent sur des déplacements domicile-travail en transports en commun à destination du centre-ville.
- Hypothèse 2 : tous les actifs utilisent les transports en commun.
- Hypothèse 3 : les actifs résidant dans une zone dont la variation du coût monétaire est comprise entre -70% et -95% bénéficient d'un tarif de 0.27€ (soit 70% de réduction par rapport au tarif initial).
- Hypothèse 4 : les actifs résidant dans une zone dont la variation du coût monétaire est comprise entre 0 et +10% s'acquittent d'un tarif de 0.98€ (soit 10% d'augmentation par rapport au tarif initial)
- Hypothèse 5 : pour les actifs résidant dans les autres zones, le coût monétaire reste à 0.89 €.

La perte de chiffre d'affaire liée à la baisse du tarif pour les 11 193 actifs (actifs n° 1) concernés s'élève à 6 940€<sup>56</sup>. Elle ne peut être compensée par le gain de chiffre d'affaire lié à la hausse de tarif pour les 20 429 actifs concernées (actifs n° 2) qui s'élève à 1 839 €<sup>57</sup>. Deux solutions sont envisagées pour

---

<sup>56</sup>  $(11193 * (0,89 - 0,27) = 6940)$

<sup>57</sup>  $(20429 * (0,98 - 0,89) = 1839)$

équilibrer le chiffre d'affaire. La solution 1 consiste à limiter la réduction à accorder aux actifs n° 1. Elle parvient à l'équilibre si le coût pour ces actifs s'élève à 0.72 €, soit 24% de réduction par rapport au tarif initial et non 70% comme sous l'hypothèse 1. La solution 2 consiste à augmenter le coût monétaire pour les actifs n° 2 en maintenant un tarif de 0.27 € pour les actifs n° 1. L'équilibre s'obtient alors pour un coût de 1.23 € pour les actifs n° 2, soit une augmentation de 38% et non de 10% comme sous l'hypothèse 4.

\*  
\* \*

L'estimation de la sensibilité des individus au coût généralisé réside d'une part dans la connaissance des pratiques de déplacement des individus en fonction de leurs caractéristiques socioéconomique et/ou d'autre part dans la connaissance de la composition sociale des quartiers. Notre analyse, menée à partir d'une segmentation par sexe et niveau d'étude, montre que les actifs les plus sensibles au coût généralisé résident dans les quartiers périphériques à forte densité de logements sociaux. Ces actifs, en percevant leur niveau d'accessibilité inférieur à celui estimé par le politique, nous invitent à reconsidérer l'évaluation économique de la réorganisation du système de transports en commun tant dans ses conclusions que pour mettre en place des actions permettant de gommer le différentiel entre accessibilité différenciée et accessibilité standard. Les actions menées dans les années 90 ne se sont pas particulièrement concentrées sur les quartiers depuis lesquels les actifs se sentent « enclavés ». Si la réduction du temps de transport ou du coût monétaire peut être envisagée pour réduire le différentiel entre les niveaux d'accessibilité différencié et standard, les conditions de sa mise en place s'avèrent difficiles dans une optique de rentabilité économique.

### III Accessibilité aux différents types d'emplois

La section précédente montre, au travers d'une prise en compte différenciée de la sensibilité au coût généralisé, que l'accessibilité perçue par les actifs peut être différente de celle envisagée par le politique. Elle lève ainsi, au moins partiellement, une des limites des mesures gravitaires auxquelles il est souvent reproché de ne pas intégrer l'hétérogénéité de la population [60]. Une autre façon d'intégrer les caractéristiques socio-économiques des individus serait de ne pas considérer l'ensemble des opportunités potentiellement

accessibles mais seulement celles auxquelles ils souhaitent ou souhaiteraient accéder. Ainsi, l'objectif de notre section consiste à différencier le niveau d'accessibilité en fonction du type d'emploi occupé ou recherché par un actif réel ou potentiel. Suivant l'exemple de S. Wenglenski, à l'échelle de l'Ile-de-France [175], nous avons pensé déterminer l'accessibilité aux emplois en fonction du statut (cadre, employé, ouvrier) qui les caractérisait. Toutefois, l'absence de données disponibles à l'échelle de la zone Iris nous a conduit à mener notre travail à partir du secteur d'activité des emplois (secteurs primaire, secondaire et tertiaire).

Après avoir présenté les fondements méthodologiques et les données sur lesquels sont fondés nos calculs et résultats, nous procéderons à une analyse qui envisagera les niveaux d'accessibilité en fonction des secteurs et soulignera le mode de transport le plus adapté pour chaque type d'actifs.

### III.1 Considérations méthodologiques

Le nombre d'emplois rattaché à chaque secteur d'activité (primaire, secondaire et tertiaire) a été déterminé à partir du nombre d'établissements répertoriés pour chacun des trois secteurs dans la base SIRENE. Ces données ont été acquises par le biais de la société Experian qui les diffuse à l'échelle de la zone Iris 2000. Pour déterminer le nombre d'emplois à partir du nombre d'établissements, nous avons appliqué au nombre d'établissements un coefficient correspondant, pour chaque zone Iris, au ratio entre le nombre d'établissements total (tous secteurs confondus) et le nombre d'emplois total qui est connu. Par la suite, la répartition du nombre d'emplois par micro-zone a été réalisée en divisant le nombre d'emplois de chaque secteur de la zone Iris par le nombre de micro-zones ainsi que nous l'avions présenté au chapitre 3 pour l'ensemble des emplois, indépendamment du secteur d'activité. Par ailleurs, en raison du décalage de date entre les données dont nous disposons pour le nombre d'établissements et donc d'emplois (2006) et la date à laquelle portent nos calculs d'accessibilité (2005), nous redressons le nombre d'emplois à partir du taux de variation annuel moyen entre 1990 et 1999, soit 1.9% par an pour les emplois situés sur la commune de Illkirch-Graafestaden et 0.2% par an pour les emplois situés sur la commune de Strasbourg.

La détermination du nombre d'actifs de chaque micro-zone en fonction du secteur d'activité a été réalisée à partir des données de l'INSEE (RGP 99).

Là encore, ces données nous sont fournies à l'échelle de la zone Iris 2000 et nous les redressons à l'échelle de la micro-zone. Les actifs travaillant dans le secteur de la construction, et identifiés indépendamment des autres secteurs par l'INSEE, ont été intégrés dans les actifs du secteur secondaire.

Dans la suite de la section, les calculs porteront sur l'accessibilité aux emplois des secteurs secondaire et tertiaire en considérant l'ensemble de la zone d'étude (et pas seulement les emplois du centre-ville). Le paramètre de sensibilité au coût généralisé sera maintenu à 0.19 pour l'ensemble des zones car nous ne connaissons pas la répartition des actifs d'un secteur considéré en fonction de leur sexe et niveau d'étude. L'accessibilité aux emplois du secteur primaire ne sera pas calculée en raison du faible nombre d'emplois dans ce secteur (371 emplois contre 7 637 emplois dans le secteur secondaire et 137 143 emplois dans le secteur tertiaire).

### III.2 Localisation comparée des actifs et des emplois

Afin de relier la localisation des actifs et des emplois selon le secteur d'activité, nous avons mis en évidence les quartiers au sein desquels était surreprésentée une catégorie d'actifs ou d'emploi (cf. figures 29 et 30). Pour ce faire, nous considérons qu'une catégorie d'actifs ou d'emploi est surreprésentée dès lors que le ratio « nombre d'actifs (ou d'emplois) rattaché à un secteur/nombre d'actifs (ou d'emplois) total » est supérieur d'au moins 5% au ratio moyen établi sur l'ensemble des zones. Ce même ratio doit être inférieur d'au moins 5% au ratio moyen pour qu'une catégorie soit déclarée sous-représentée.

Les actifs exerçant dans le secteur tertiaire sont surreprésentés dans les quartiers centraux ainsi que dans le quartier de la Meinau. Les secteurs de l'Ouest d'Illkirch ou de l'Est de Strasbourg qui apparaissent également en rouge sur la carte sont à reconsidérer dans la mesure où ces zones, essentiellement industrielles, sont très peu peuplées. A l'inverse des actifs du secteur tertiaire, les actifs travaillant dans le secteur secondaire sont surreprésentés dans les quartiers périphériques du Nord, de l'Est et du Sud-Est de Strasbourg ainsi que sur la commune d'Illkirch.

La localisation différenciée des actifs des secteurs secondaire et tertiaire se double d'une localisation différenciée des emplois de ces deux secteurs.

Ainsi les emplois secondaires apparaissent surreprésentés dans les secteurs Sud et Est de l’aire d’étude qui correspondent aux grandes zones industrielles et naturelles telles la Plaine de Bouchers, le Port du Rhin. Toutefois, la sur-représentation des emplois secondaires sur la moitié Est d’Illkirch masque une densité d’emploi parmi les plus faible de l’aire d’étude (moins de 4 emplois tous secteurs confondus par micro-zone de 250 mètres x 250 mètres).

Ces constats mettent en évidence une adéquation entre la localisation des actifs et des emplois uniquement pour les quartiers du centre-ville qui abritent une sur-représentation d’actifs du secteur tertiaire et une sur-représentation d’emplois de ce même secteur. On observe également, mais de manière moins nette, une adéquation entre la sur-représentation des actifs et des emplois du secteur secondaire dans certains quartiers de l’Est de Strasbourg (Cronenbourg, Koenigshoffen).

Pour l’ensemble des autres quartiers, la population active ne disposant pas d’un panel d’emplois potentiels, correspondant à son profil, suffisamment important se voit contrainte de migrer vers d’autres quartiers pour travailler et donc d’utiliser un mode de transport autre que la marche à pied.

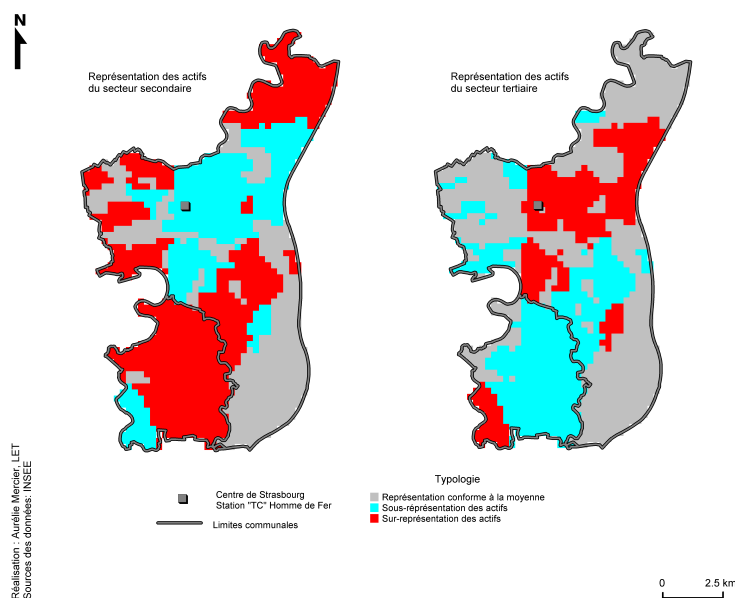


FIG. 29 – Localisation des actifs



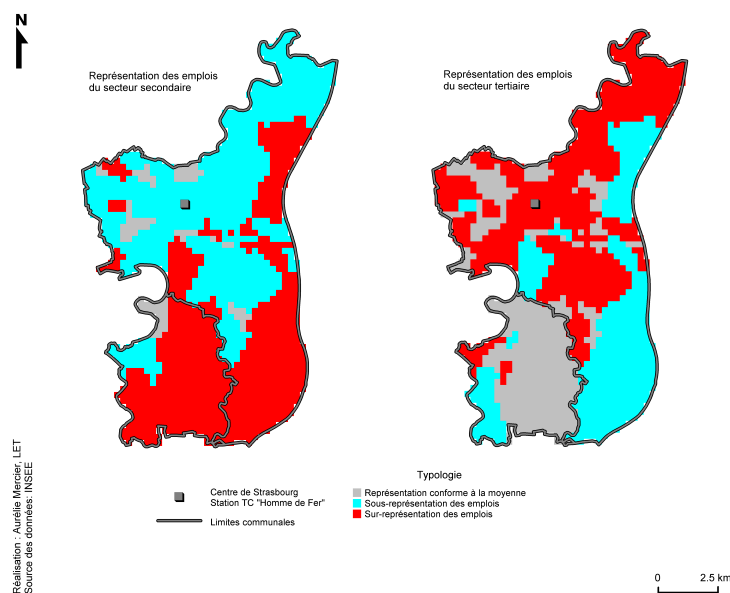


FIG. 30 – Localisation des emplois

### III.3 Un accès aux emplois conditionné par l’usage de la voiture particulière

Quelle que soit sa localisation, un actif cherchant à maximiser son accessibilité à l’emploi orientera son activité vers le secteur tertiaire, se rendra sur son lieu de travail en voiture particulière et se localisera au centre-ville. De fait, en raison du nombre d’emplois offert par le secteur tertiaire par rapport au secteur secondaire (95% contre 5%), l’accessibilité aux emplois du secteur tertiaire est toujours meilleure que l’accessibilité aux emplois du secteur secondaire. Par ailleurs, la voiture particulière offre presque toujours le coût généralisé le plus faible. Seule l’accessibilité aux emplois tertiaires d’une dizaine de micro-zones, situées au Sud-Est de l’aire d’étude, est meilleure en transports en commun. Ce sont les actifs résidant dans les zones centrales qui présentent les niveaux d’accessibilité aux emplois en voiture particulière les plus élevés et ce, quel que soit le secteur d’activité. De fait, le réseau routier, très maillé sur l’ensemble du territoire, l’est encore davantage aux abords du centre-ville notamment grâce aux autoroutes et voies rapides qui le contournent. Plus la localisation de l’actif s’éloigne du centre-ville, plus son niveau d’accessibilité à l’emploi en voiture particulière diminue.

La figure 31 présente, pour chacun des secteurs, le différentiel d'accessibilité en fonction du mode de transport utilisé. Si la voiture particulière reste le mode le plus performant en termes d'accessibilité à l'emploi, elle l'est d'autant plus que les emplois relèvent du secteur secondaire. De fait si l'on excepte la dizaine de zones du Sud d'Illkirch et trois micro-zones localisées au centre-ville, l'accessibilité en voiture particulière reste dans le « pire des cas » 50% supérieure à celle en transports en commun. Ce résultat s'explique par la localisation périphérique des emplois industriels (et de construction) et par l'absence de desserte en transports en commun performante entre les différentes zones industrielle et l'ensemble de l'aire d'étude. Notons cependant que certaines zones industrielles sont desservies par le tramway comme la Plaine des Bouchers avec la ligne A ou par une ligne de bus comme la zone industrielle du Port du Rhin avec la ligne n° 11-a dont les horaires sont adaptés au rythme de travail décalé des salariés. On remarque ainsi que les zones qui présentent le différentiel entre modes le plus faible pour l'accessibilité aux emplois secondaires sont localisées à proximité d'un arrêt de tramway ou de bus.

L'occupation d'un emploi tertiaire favorise davantage l'utilisation des transports en commun même si le différentiel d'accessibilité reste à l'avantage des automobilistes. Le différentiel d'accessibilité entre les deux modes est inférieur à 50% pour 40% des actifs travaillant dans le secteur tertiaire, ceux-ci étant localisés à proximité du tramway ou d'une ligne de bus performante. Ces résultats s'expliquent conjointement par la tendance à la localisation centrale des emplois tertiaires et la bonne desserte du centre-ville par les transports en commun avec notamment les quatre lignes de tramway renforcées par les lignes de bus de rabattement. Parallèlement, le coût généralisé élevé d'un déplacement automobile à destination centre-ville, notamment en raison du coût de stationnement, rend l'attractivité de l'automobile plus faible que pour un déplacement à destination d'une zone industrielle.

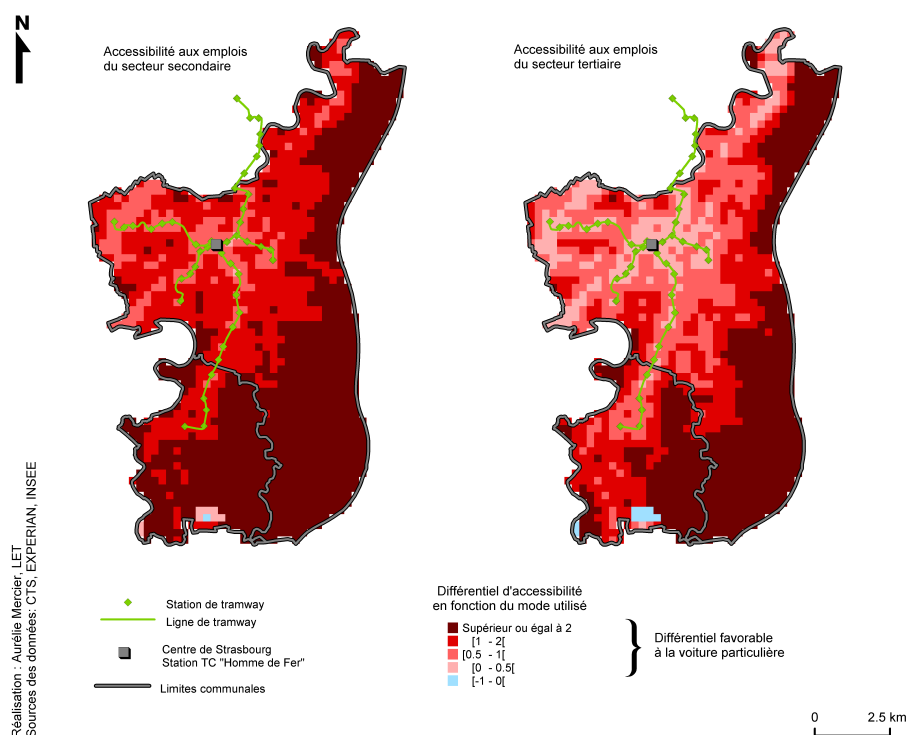


FIG. 31 – Différentiel d'accessibilité aux emplois en fonction des modes de transport et des secteurs d'activité

### III.4 Une prise en compte de la demande pour orienter les choix politiques

Replaçons-nous dans l'optique d'une politique cherchant à encourager l'usage des transports en commun. Les paragraphes précédents nous enseignent que la voiture reste le mode le plus performant pour accéder aux emplois mais que les transports en commun pourraient rivaliser avec elle pour accéder aux emplois tertiaires. Entre les deux modes, le différentiel d'accessibilité aux emplois tertiaire est ainsi inférieur à 50% pour les actifs du centre-ville. Ce résultat peut ainsi être envisagé de deux façons différentes. La première consisterait à observer que c'est précisément là où les actifs exerçant dans le secteur tertiaire sont surreprésentés que le différentiel d'accès aux emplois tertiaire est le plus faible. Une amélioration de l'offre de transports en commun au centre-ville pourrait alors non seulement inverser la tendance

entre les deux modes mais générer une forte variation de surplus collectif pour les non-automobilistes (réels ou potentiels). La seconde interprétation pourrait conduire à reconnaître que c'est précisément au centre-ville qu'une amélioration de l'offre de transports en commun doit être apportée. Bien qu'inférieur à 50%, le différentiel d'accessibilité entre la voiture particulière et les transports en commun au centre-ville concerne près de 20% des actifs du secteur tertiaire.

La figure 32 illustre, pour chacun des deux secteurs d'activité, le différentiel d'accessibilité en fonction du mode de transport pondéré par la population active concernée. Les 1603 micro-zones de l'aire d'étude ont été réparties en 5 classes dont les limites ont été établies de façon à garder environ le même nombre d'enregistrements par classe que dans la figure 31. La contre-performance des transports en commun pour accéder aux emplois du secteur secondaire est relativisée par le nombre d'actifs qu'elle affecte. Les quartiers sur lesquels doivent porter les efforts d'amélioration de l'offre en transports en commun sont les quartiers centraux, du Neudorf, de la Meinau et le secteur Ouest de Strasbourg (HautePierre, Cronenbourg...). Ces quartiers correspondent à ceux dont les actifs du secteur secondaire sont sur-représentés. La pondération du différentiel d'accessibilité par la population active masque la mauvaise desserte des zones Est de Strasbourg qui sont faiblement peuplées.

Les actifs du secteur tertiaire étant plus nombreux et localisés de manière plus homogène sur l'ensemble du territoire que les actifs du secteur secondaire, ils ressentent collectivement davantage la contre-performance des transports en commun pour accéder aux emplois que les actifs du secteur secondaire. Le différentiel entre modes pour l'accès aux emplois tertiaires est supérieur ou égal à 25 sur 54% du territoire tandis qu'il l'est sur 33% du territoire pour l'accès aux emplois secondaires. Parmi les zones pour lesquelles le différentiel pondéré est le plus important, on retrouve les quartiers centraux, du Neudorf, ou le secteur Ouest de Strasbourg. Certaines de ces zones, notamment dans la partie centrale, bénéficient d'une bonne desserte en transports en commun, comme le souligne le différentiel non pondéré inférieur à 0.5 mais présentent une densité élevée de population active tertiaire qui fait ressortir la moindre performance des transports en commun.

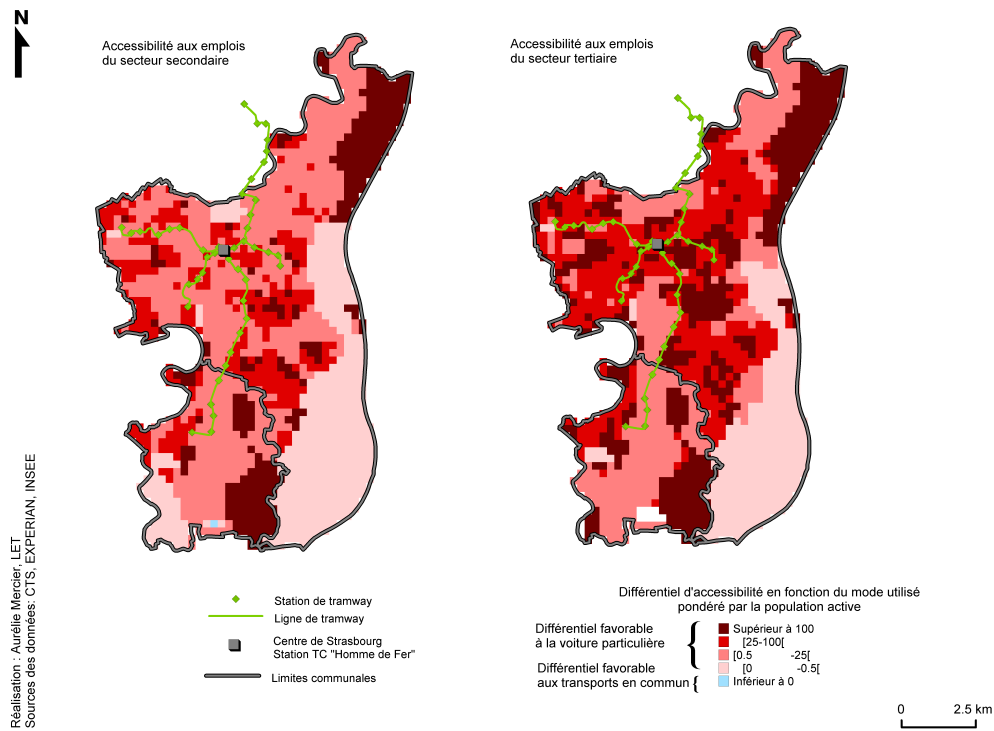


FIG. 32 – Différentiel d'accessibilité aux emplois en fonction des modes de transport et des secteurs d'activité pondéré par la population active

\*  
\* \*

Faisant suite à la section précédente qui intègre l'hétérogénéité de la population au travers d'une prise en compte différenciée de la sensibilité au coût généralisé, cette section poursuit sur le même thème en envisageant des mesures d'accessibilité propres à différents types d'emplois. A partir d'une différenciation entre emplois secondaires et tertiaires, nous dégageons les enseignements suivants. La localisation comparée des actifs et des emplois souligne que seuls les quartiers centraux présentent une adéquation entre population active résidente et type d'emplois majoritairement offerts. L'utilisation d'un moyen de transport motorisé s'avère dès lors souvent nécessaire pour la majorité de la population active. L'automobile offre ainsi un niveau d'accessibilité toujours supérieur à celui des transports en commun, quels que soient

le type d'emplois et la zone de résidence, comme nous l'avions déjà noté au chapitre précédent en comparant les performances modales pour l'accès à l'ensemble des emplois. Si les transports en commun ne permettent pas de concurrencer l'automobile pour accéder aux emplois secondaires, le différentiel d'accessibilité aux emplois tertiaires entre les modes est plus faible en raison de la tendance à la localisation centrale de ce type d'emplois. Toutefois, l'intégration de la demande potentielle souligne qu'en dépit de ces résultats, l'amélioration de l'offre de transports en commun doit porter sur les zones les plus densément peuplées. Une telle amélioration permettra ainsi de réduire le différentiel d'accessibilité entre les modes sans que l'un des trois scénarii suivants ne soit mis en place.

## IV Trois variantes pour une réduction du différentiel d'accessibilité entre les modes

Malgré la réorganisation du réseau de transports en commun durant les années 90 et la mise en place de quatre lignes de tramway, la performance de l'automobile reste toujours supérieure à celle des transports en commun pour accéder à l'ensemble des emplois de notre aire d'étude. Si l'objectif avancé par le PDU et qui consiste à réduire les écarts d'accessibilité entre mode motorisé privatif et collectif est atteint, l'accessibilité reste largement meilleure en voiture particulière. Dès lors, dans la lignée du PDU et afin de réduire davantage les écarts d'accessibilité, l'objectif de cette section consiste à envisager trois scénarii pour réduire l'écart d'accessibilité entre les deux modes, tout en gardant l'infrastructure existante.

Contrairement à d'autres travaux qui se sont intéressés au volet « opportunités » (Handy et Clifton [85]), nous nous focalisons sur le volet « coût du déplacement ». Chacun des scénarii s'attache ainsi à faire varier une composante du coût généralisé tant pour les automobilistes que pour les usagers des transports en commun. Ainsi au travers de la taxation des automobilistes, le coût monétaire sera augmenté tandis que la réduction des vitesses automobiles ou l'amélioration des fréquences des transports collectifs influenceront la durée de déplacement. Seule une variation du coût monétaire d'un déplacement en transports en commun ne sera pas analysée en raison des répercussions négatives sur l'offre de transport que pourrait avoir une baisse du prix du ticket de bus ou de tramway.

## IV.1 La taxation des automobilistes

Le point de départ de notre réflexion réside dans la volonté d'améliorer le temps de transport sur le réseau de bus. Sans modifier la structure du réseau, la seule possibilité consiste à améliorer les vitesses des lignes de bus existantes en créant pour chacune d'elles des itinéraires en site propre. La circulation en site propre permet ainsi aux bus d'atteindre la vitesse de 18 km/h. L'accroissement des vitesses des bus se traduirait dès lors par une diminution du coût généralisé d'un déplacement en transports en commun et *in fine* une réduction du différentiel d'accessibilité entre les deux modes.

La mise en site propre génère toutefois un coût pour la collectivité dans la mesure où, au-delà des contraintes techniques de mise en site propre, le coût de la réduction de la place de l'automobile doit être envisagé. Or, on suppose que la collectivité ne souhaite pas investir. Dès lors se pose la question de savoir comment obtenir le même différentiel d'accessibilité qu'avec une mise en site propre de l'intégralité du réseau de bus mais sans engendrer un tel coût pour la collectivité. Ainsi au lieu de favoriser les usagers des transports en commun en améliorant leur temps de parcours, l'idée serait de « pénaliser » les automobilistes en augmentant le coût monétaire de leur déplacement. Pour ce faire, nous envisageons deux variantes prenant la forme d'une taxe kilométrique et d'un péage urbain afin de répondre aux deux questions suivantes :

1. Quel est le niveau de la taxe à appliquer aux automobilistes pour que le différentiel d'accessibilité entre voiture particulière et transports en commun soit identique à celui engendré par une mise en site propre du réseau de bus ?
2. Si au lieu d'opter pour une taxe applicable à tous un péage était mis en place, quel serait l'impact sur les termes de la concurrence modale ?

### IV.1.1 Considérations méthodologiques

Dans l'hypothèse où l'ensemble des lignes de bus est en site propre, la vitesse commerciale de chaque ligne de bus est estimée à partir de la vitesse commerciale des quatre lignes de tramway en 2005. La vitesse commerciale des lignes de tramway est de 18 km/h en heure de pointe. Ainsi on affecte la vitesse de 18 km/h pour les lignes présentant une vitesse « de référence » inférieure à 18 km/h en 2005 (période de pointe) et on conserve la vitesse des

autres lignes. La vitesse commerciale du réseau de transports en commun est alors de 18.8 km/h en période de pointe. Le gain de temps global obtenu par la mise en site propre de l'ensemble du réseau est estimé à 15 %.

### IV.1.2 L'instauration d'une taxe kilométrique

#### *Évaluation du montant de la taxe kilométrique*

Le niveau de taxe à appliquer aux automobilistes est calculé par tâtonnement de manière à égaliser le niveau d'accessibilité global (pour l'ensemble des 1603 micro-zones de l'aire d'étude) en bus avec un réseau site propre et le niveau d'accessibilité global en voiture particulière.

La seule mise en site propre du réseau de bus<sup>58</sup> se traduirait par une hausse du niveau d'accessibilité globale en transports en commun et par une réduction du différentiel d'accessibilité entre les deux modes en faveur des transports en commun. Le différentiel passerait ainsi de 1.49 (en situation de référence) à 1.05 avec l'accroissement des vitesses des bus. Toutefois, si nous n'envisageons pas, à ce stade de l'étude, de modifier la structure du réseau de bus, nous envisageons l'instauration d'une taxe kilométrique pour conserver le différentiel d'accessibilité à un niveau proche de 1.05. Pour ce faire, le coût monétaire d'un déplacement automobile s'élèverait à 0.565 € par km au lieu de 0.38€ en situation de référence, soit une augmentation de 48%. Sur un déplacement moyen de 13 km, la hausse atteindrait alors 2.4 €.

La taxe kilométrique s'applique sur la totalité du coût monétaire qui comprend plusieurs composantes. Cependant, pour mieux appréhender l'impact de la taxe sur le coût d'utilisation d'une automobile, nous l'imputons précisément sur le coût du carburant. Sur la base 16 860 kilomètres annuels (cf. chapitre 4), cette taxe génère une hausse de 260% du budget carburant de l'automobiliste et le coût du carburant par kilomètre passe alors de 0.07 € à 0.24 €. Par comparaison, le coût du carburant par kilomètre début 2008 variait entre 0.07 € (Gazole et GPL) et 0.130 € (Essence) pour une voiture de 7 chevaux fiscaux [58].

---

<sup>58</sup>Nous ne prenons pas en considération la baisse de vitesse automobile engendrée par une réduction de la place de cette dernière sur la voirie.



### *Impact de la taxe sur le niveau d'accessibilité*

Si l'instauration d'une taxe automobile de 0.18 € par kilomètre procure un différentiel d'accessibilité équivalent à celui généré par la mise en site propre du réseau de bus, nous nous interrogeons sur l'impact de chacune de ces deux mesures à un niveau désagrégé. La figure 34 souligne que tant en termes de zones que de population, l'effet de chacune de ces mesures sur la concurrence modale est identique. Par rapport à la situation de référence, la taxe kilométrique améliore le différentiel d'accessibilité en faveur des transports en commun pour 41% des zones et pour 27% de la population. Elle ne permet toutefois pas de générer un différentiel favorable aux transports en commun. L'instauration d'une taxe automobile pénalise plus directement les zones qui ne sont pas desservies par les transports en commun telles le secteur Est de Strasbourg. A l'inverse, pour les zones relativement mieux desservies par les transports en commun que par l'automobile, améliorer davantage les vitesses des bus ne fait que réduire davantage la performance de la voiture particulière (exemple des zones localisées à proximité des lignes de tramway B et C). Enfin troisième cas de figure, pour les zones qui bénéficient d'une desserte en transports en commun, le fait de pénaliser l'utilisation de l'automobile fait ressortir l'attrait des lignes de bus (exemple du secteur Nord-Est de Strasbourg).

### **IV.1.3 Le péage urbain : une autre forme de taxation**

#### *Présentation du péage urbain*

Le péage urbain, en faisant payer à l'automobiliste l'utilisation de la voirie, peut constituer une alternative à la taxe kilométrique pour réduire le différentiel d'accessibilité entre la voiture particulière et les transports en commun. L'objectif de la simulation d'un péage urbain consiste à envisager l'impact d'un accroissement du coût monétaire des déplacements automobiles à destination du centre-ville sur le niveau de trafic et par conséquent le niveau d'accessibilité des automobilistes. Le péage urbain envoie un signal-prix afin que les automobilistes dont le consentement à payer est inférieur au prix du péage ne circulent plus dans la zone permettant ainsi aux autres automobilistes de bénéficier de temps de parcours plus performants. La question sous-jacente consiste à savoir quel niveau de péage permet des gains de temps

suffisants pour compenser la hausse du coût monétaire d'un déplacement vers le centre-ville.

Un péage urbain peut prendre différentes formes spatiales (péage d'infrastructure, péage de zone, péage cordon) et temporelles (péage modulé ou non en fonction des périodes de la journée) selon l'objectif poursuivi (financement des infrastructures de transport ou réduction de la congestion automobile). Le contexte et les finalités de notre travail qui ne visent pas nécessairement à diminuer le niveau de trafic automobile mais plutôt à accroître le coût d'un déplacement automobile nous conduisent à simuler un péage en heure de pointe qui s'apparente à un péage de zone sur l'ensemble du centre-ville. La zone concernée par le péage s'étend sur 5.3 km<sup>2</sup> reprenant les périmètres de zones Iris établis en fonction des infrastructures de transport structurantes ou des frontières naturelles (cf. figure 20, chapitre 5). Les déplacements dont le coût est majoré sont uniquement ceux à destination du centre-ville (même si l'origine de ces déplacements se trouve également dans le centre-ville) et non les déplacements dont une partie au moins s'effectue dans le centre-ville comme pour un péage de zone traditionnel.

Le montant du péage est fixé à 3 € ce qui correspond à une tarification parmi les plus basses en vigueur et à celle adoptée par Raux et Souche dans une simulation de péage sur Lyon [149]. Le montant du péage est relativement faible pour toucher le plus grand nombre d'automobilistes sans pour autant les inciter à se reporter sur les axes de circulation non concernés par le péage ou sur les modes alternatifs à la voiture. Un report modal trop important générerait des gains de temps pour les automobilistes qui compenseraient le coût du péage et n'améliorerait pas la compétitivité relative des transports en commun vis-à-vis de l'automobile. A l'inverse, un montant trop faible ne constituerait pas un véritable signal pour les automobilistes. En considérant une valeur du temps estimée à 12€ par heure, un péage de 3€ peut être compensé par un gain de temps de 15 minutes environ.

Le coût lié au péage urbain est introduit dans le modèle à quatre étapes (présenté au chapitre 3) afin d'intégrer l'impact du péage sur la répartition modale entre transports en commun et voiture particulière puis sur l'affectation des trafics automobiles sur les différents tronçons.

### *Péage urbain et accessibilité automobile*

L'introduction d'un péage urbain de 3€ se traduit pour les automobilistes par une perte d'accessibilité globale et une variation de surplus négative, quelle que soit leur zone de résidence (figure 33). Sur l'ensemble du territoire, la baisse d'accessibilité moyenne est proche de 1.7% et oscille entre 0.3% et 90% selon les zones. La variation moyenne du surplus atteint -2.19 avec un écart type de 12.

Ces résultats soulignent qu'un péage urbain de 3€ ne se traduit pas par une baisse de trafic automobile suffisante pour générer un gain de temps qui compenserait le coût lié au péage. Ils sont ainsi cohérents avec notre objectif de départ qui était d'instaurer un péage non pas dans le but de réduire la congestion mais plutôt de pénaliser financièrement les automobilistes. L'explication des résultats réside dans le fait, qu'en raison de la faible surface concernée par le péage, les gains de temps procurés par la baisse du trafic sont inférieurs à 15 minutes. D'une part, le report modal à la suite de la mise en place du péage est très faible : alors que, sur le périmètre de l'EMD plus large que celui de notre aire d'étude, la part des déplacements domicile-travail réalisés en voiture particulière était de 91% sans péage, elle est estimée à 87% avec le péage. D'autre part, le temps moyen de déplacement à destination du centre-ville élargi en voiture particulière sur les communes de Strasbourg et Illkirch étant de 10 minutes environ, un gain de temps de 15 minutes n'est pas envisageable. L'étude menée par Glachant sur un péage de zone de 23 km<sup>2</sup> à Paris aboutit aux mêmes conclusions concernant la variation de surplus des automobilistes [79].

La figure 33 illustre une variation de surplus différenciée selon les zones. Les zones ont été équi-réparties en 5 catégories suivant une discrétisation par la méthode des quantiles. La variation de surplus est à relier avec le nombre d'actifs résidant dans chaque zone et l'offre d'infrastructures routières, ces deux variables étant elles-mêmes souvent corrélées. De par la formule mathématique du surplus (présentée chapitre 5), la différence des logarithmes d'accessibilité est pondérée par le nombre d'actifs. Le différentiel d'accessibilité pèse alors d'autant plus sur la variation de surplus qu'elle affecte un grand nombre d'actifs. Les 15% de zones les plus peuplées présentent toutes une variation négative supérieure à |2|. Au-delà de la corrélation entre population active et variation de surplus, on observe un lien étroit entre

offre de transport routier et variation de surplus. L'offre de transport s'entend en termes de densité du réseau mais également de performance. Les quartiers du centre-ville de Strasbourg (excepté le centre-ville historique), de Cronembourg-Hautepierre, du Neudorf, de la Meinau ou du centre-ville d'Illkirch bénéficient d'un réseau routier très dense et d'une variation de surplus négative parmi les plus fortes (cinquième quintile). Au-delà de la densité du réseau, sa performance influence également la variation de surplus. Les zones localisées à proximité des échangeurs autoroutiers se situent généralement dans le cinquième quintile. Les zones localisées à proximité d'un réseau routier dense et/ou performant bénéficieraient avant la mise en place du péage d'un niveau élevé d'accessibilité au centre-ville (et *a fortiori* un niveau élevé d'accessibilité global) en raison d'un coût de déplacement faible. Dès lors, instaurer un péage de 3€ impacte d'autant plus le coût généralisé que ce dernier était faible avant son introduction. Notons que le fait pour une zone d'être localisée ou non au sein de l'aire concernée par le péage pourrait influencer le niveau de variation de surplus dans la mesure où, comme précédemment, les déplacements qui vont être soumis au péage sont ceux qui présentaient auparavant de faibles coûts généralisés. Toutefois, cartographiquement, nous observons que la localisation (à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone de péage) n'est pas corrélée à la baisse de surplus. Ainsi le quartier de la Gare Centrale localisé au sein de l'aire de péage se situe dans le quatrième quintile tandis que des zones localisées à la frontière extérieure du péage tel le quartier de l'Espalanade sont dans le cinquième quintile. Ce n'est donc pas tant le fait d'être ou non à l'extérieur du périmètre du péage qui influe que le coût généralisé des déplacements à destination du centre-ville élargi avant l'introduction du péage.

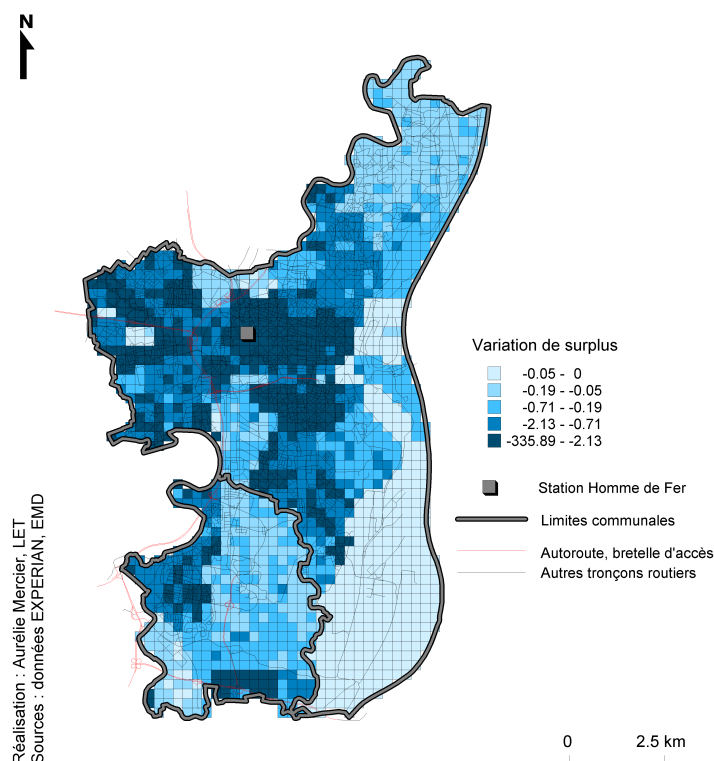


FIG. 33 – Variation du surplus des automobilistes suite à la mise en place du péage urbain

### *Péage urbain et concurrence modale*

La péage urbain, en aggravant le coût généralisé des déplacements automobiles, permet de réduire le différentiel d'accessibilité entre la voiture particulière et les transports en commun de l'ordre de 2 points sur l'ensemble de l'aire d'étude. Avec un différentiel estimé à 1.46 sur l'ensemble de l'aire d'étude, l'automobile demeure de loin le mode offrant le meilleur niveau d'accessibilité. La représentation cartographique du différentiel d'accessibilité suite à la mise en place du péage est une copie quasi conforme de la représentation cartographique du différentiel sans péage (comparaison des figures 34 (a) et (d)). Seules quelques micro-zones localisées essentiellement au centre-ville présentent, grâce au péage urbain, un différentiel favorable

au mode collectif. Le péage urbain, dans cette configuration géographique et tarifaire ne constitue pas un outil capable de renverser les termes de la concurrence modale au niveau de l'aire d'étude. Malgré l'apparition du péage, le coût monétaire supérieur pour les automobilistes est compensé par des temps de transport plus faibles que pour les usagers des transports en commun. La baisse du trafic automobile (la part de la voiture baisse de 4 points avec l'introduction du péage) et la baisse de la congestion qui en résulte pourrait expliquer le fait que les automobilistes persistant sur le réseau routier conservent une accessibilité meilleure que les usagers des transports en commun mais la payent au prix fort. On retrouve alors une conclusion en accord avec un des objectifs possibles des péages urbains à savoir diminuer la congestion et offrir aux automobilistes avec un fort consentement à payer des temps de transports faibles et fiables.

Observons maintenant l'impact du péage non plus à l'échelle du territoire mais au niveau des micro-zones. Tarifier l'accès en voiture au centre-ville offre à 14 micro-zones une accessibilité meilleure en transports en commun qu'en voiture particulière (contre 7 micro-zones en situation « de référence »). Ces micro-zones sont localisées soit à la périphérie extérieure de la zone de péage, soit au sud d'Illkirch, à proximité du territoire dont l'accessibilité était déjà supérieure en transports en commun en situation de référence. Pour les micro-zones périphériques à la zone de péage, l'accroissement du coût monétaire n'est pas compensé par le gain de temps en automobile du fait des faibles distances entre la micro-zone origine à la périphérie du péage et les micro-zones destination au sein de la zone de péage. Pour les micro-zones du Sud-Est, le péage urbain s'ajoute à la bonne performance des transports en commun.

Si le péage urbain ne se traduit pas nécessairement par un niveau d'accessibilité favorable aux modes collectifs, il réduit le différentiel entre ces derniers et l'automobile. Les zones pour lesquelles le péage impacte le plus le différentiel d'accessibilité correspondent aux zones qui, en situation de référence, présentent un différentiel inférieur à 0.5 autrement dit les zones dont la performance de l'automobile est « légèrement » supérieure à celle de l'automobile. Ces micro-zones présentent en effet des modes collectifs performants qui offrent une alternative à l'automobile d'autant plus crédible que le coût d'utilisation d'un véhicule augmente. Parallèlement aux zones bien desservies en transports en commun, les territoires localisés à proximité des autoroutes

ou bien uniquement desservis par le réseau routier voient le différentiel d'accessibilité s'amenuiser entre les deux modes. Dans ce cas, ce n'est plus la performance des transports en commun qui est valorisée mais la « moindre performance » de l'automobile. Les automobilistes subissent alors l'augmentation des coûts automobiles dans la mesure où il ne leur est pas proposé d'alternative crédible.

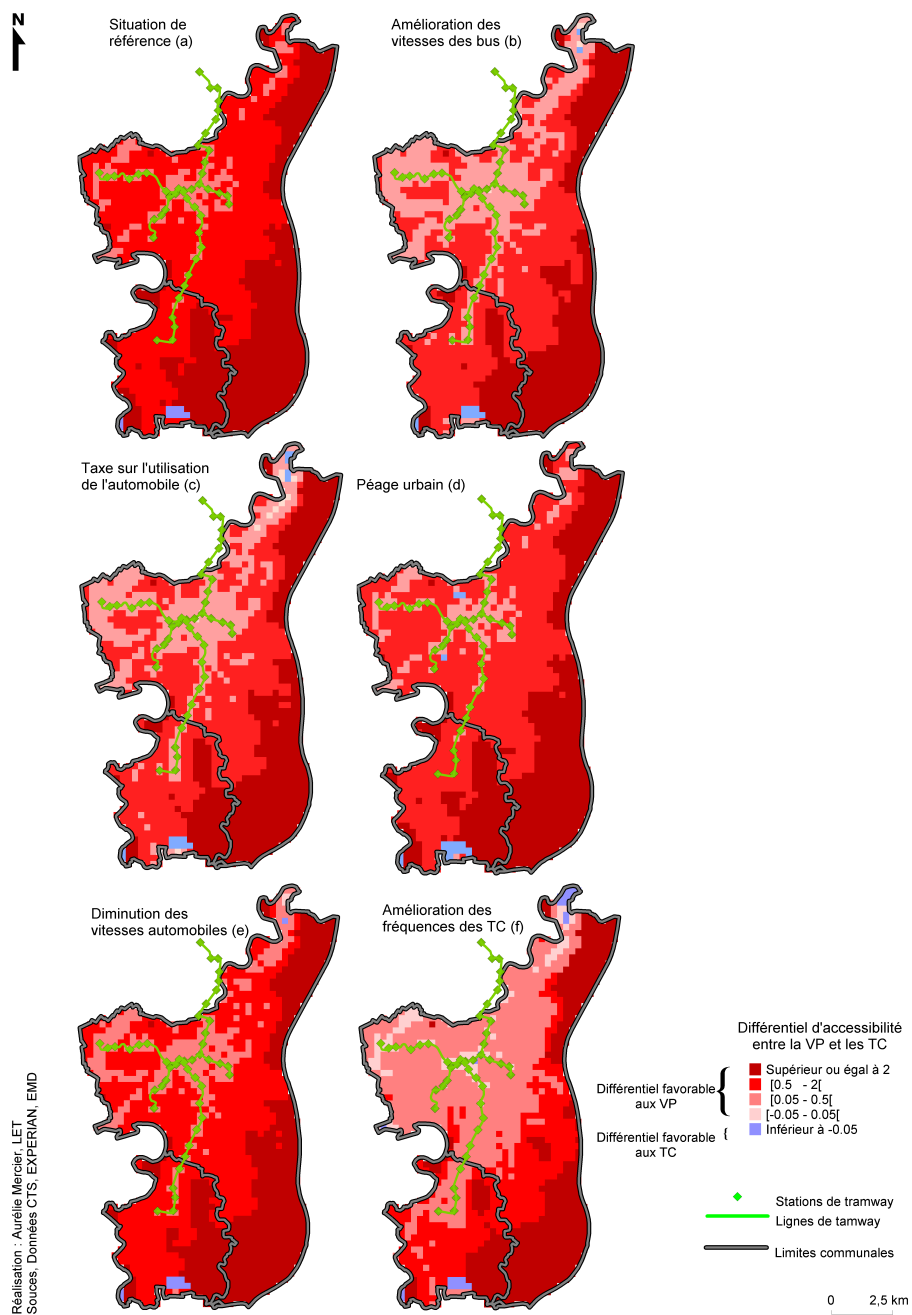


FIG. 34 – Variantes pour réduire le différentiel d'accessibilité entre voiture particulière et transports en commun



## IV.2 La limitation des vitesses automobiles

### IV.2.1 Considérations méthodologiques

Le second scénario ne consiste plus à faire varier le coût monétaire mais à jouer sur le levier temporel en allongeant le temps de transport. Ce scénario pourrait être mis en place en considérant une raréfaction des places de stationnement qui occasionnerait un allongement du temps de recherche d'une place de stationnement. Nous avons lui avons préféré une réduction des vitesses sur les autoroutes et voies rapides en nous inspirant de l'exemple de Grenoble qui diminue les vitesses 30% sur autoroutes et voies principales lors notamment de pics de pollution. A partir de l'expérience grenobloise, nous généralisons une réduction des vitesses de 30% sur l'ensemble des tronçons routiers et autoroutiers de notre aire d'étude. Notons que la réduction des vitesses sur les grands axes n'est pas forcément perçue négativement par les automobilistes qui perdent en vitesse de déplacement mais gagnent en sécurité et en fiabilité de temps de parcours.

### IV.2.2 Un scénario aux effets limités

La réduction partielle des vitesses, en aggravant le coût généralisé des automobilistes, réduit le différentiel entre les deux modes par rapport à la situation de référence mais présente des effets limités. Le différentiel d'accessibilité sur l'ensemble de l'aire d'étude passe ainsi de 1.49 en situation de référence à 1.27 avec une limitation partielle des vitesses. Les zones qui voient leur différentiel diminuer sont localisées dans la partie centrale de Strasbourg ainsi qu'aux abords des grands axes routiers (secteurs Ouest et Nord-Est de Strasbourg, par exemple) et/ou des lignes de transports en commun performantes (secteurs desservis par le tronçon Sud de la ligne A du tramway). En effet, ce sont les secteurs pour lesquels l'accessibilité est la plus dépendante de la vitesse automobile qui subissent le plus la baisse de performance du mode privatif (cf. figure 34 (d)). Pour les secteurs bénéficiant à la fois d'une desserte par voie rapide et d'un réseau de transports en commun performants, telle la partie Nord d'Illkirch, l'attractivité des transports en commun ressort d'autant plus que les coûts de déplacements en voiture particulière augmentent.

### **IV.2.3 Quelle baisse de vitesse pour obtenir un différentiel nul ?**

Partant du constat précédent qu'une réduction des vitesses de 30% sur les autoroutes et voies rapides n'était pas suffisant pour permettre aux transports en commun de concurrencer la voiture particulière, nous recherchons la baisse de la vitesse à appliquer sur l'ensemble des tronçons pour obtenir un différentiel nul à l'échelle de l'aire d'étude. Il faudrait ainsi appliquer une baisse de 80% des vitesses non pas sur les vitesses maximales mais sur les vitesses réellement pratiquées en situation de référence pour obtenir un niveau d'accessibilité comparable, à l'échelle de l'aire d'étude, pour les deux modes.

## **IV.3 Amélioration des fréquences des bus**

### **IV.3.1 Hypothèses de travail**

Le troisième scénario vise à améliorer le niveau d'accessibilité des usagers des transports en commun en doublant les fréquences des bus et des tramways. Le temps d'attente serait de 2 à 3 minutes pour un tramway (excepté sur la ligne D où il serait de 6 minutes) et de 6 minutes environ pour un bus. Nous passons outre les contraintes techniques (croisement des véhicules aux stations de correspondance, par exemple) et financières (investissement en véhicules, rémunération des conducteurs. . .) inhérentes à cette variante et considérons qu'un tel aménagement des horaires est possible.

### **IV.3.2 Des résultats plus favorables aux transports en commun**

De tous les scénarii étudiés, l'amélioration des fréquences des transports en commun et la baisse du temps d'attente qui en résulte est la plus efficace pour améliorer la compétitivité globale des transports en commun. Améliorer l'offre des transports collectifs permet de ramener le différentiel d'accessibilité entre les deux modes à 0.7 sur l'ensemble de l'aire d'étude. Par rapport à la situation de référence, l'amélioration de l'offre de transports en commun profite à la quasi totalité du territoire habité (cf. figure 34 (e)). Seules les régions situées au Sud et à l'Est du territoire d'étude ne voient pas le différentiel d'accessibilité entre les deux modes se réduire. Ce sont en effet des zones peu ou pas peuplées et, de ce fait, mal desservies par les transports en commun. A l'inverse, on note que pour certaines zones du centre, de l'Ouest et du Nord de Strasbourg (zones qui présentent en situation de référence un différentiel compris entre 0.05 et 5) l'accessibilité est comparable en voiture

particulière et en transports en commun. Ces zones sont, en situation de référence, bien desservies par les transports collectifs (tramway et/ou lignes de bus performantes) et l'amélioration des fréquences ne fait que renforcer leur accessibilité en transports en commun.

\*  
\* \*

Cette section se place dans l'optique de renforcer la cohérence de la politique de transport avec les objectifs du PDU et notamment la réduction des écarts d'accessibilité entre la voiture particulière et les transports en commun. Elle envisage, pour ce faire, trois scénarii permettant de réduire le différentiel d'accessibilité entre les deux modes pré-cités. Ces variantes concernent deux leviers du coût généralisé que sont le coût monétaire et le temps de déplacement. Le premier scénario cherche par le biais d'une taxe sur l'usage de l'automobile ou d'un péage urbain à aggraver le coût monétaire supporté par les automobilistes tandis que le second scénario accroît le temps passé en véhicule par le biais d'une réduction des vitesses sur les autoroutes et voies principales.

Contrairement aux précédents scénarii qui influencent le niveau d'accessibilité des automobilistes, le troisième scénario s'applique aux usagers des transports en commun. En améliorant la fréquence des véhicules (bus et tramway), elle cherche à diminuer le temps d'attente et donc le coût généralisé. Des trois scénarii, ce dernier présente les meilleurs résultats et réduit le différentiel d'accessibilité entre les modes à 0.7. L'accessibilité, à un niveau global, reste toutefois meilleure en voiture particulière qu'en transports en commun. Seule une diminution des vitesses automobiles de 80% permettrait d'atteindre un niveau d'accessibilité comparable entre les deux modes.

## V Conclusion du chapitre 6

Ce chapitre propose un double prolongement de l'évaluation *a posteriori* menée dans le chapitre précédent. Cette évaluation, en se concentrant sur l'analyse rétrospective de l'impact de la politique de transport sur les actifs automobilistes et/ou usagers des transports en commun, présente au moins deux faiblesses. D'une part, elle considère une population active homogène dont les individus ne se distinguent que par leur localisation. D'autre part,

elle n'envisage pas les impacts qu'auraient pu avoir des politiques alternatives sur l'atteinte des objectifs définis par le PDU.

Considérant ces limites ce chapitre cherche d'une part à apprécier dans quelle mesure une différenciation des individus en fonction de leurs caractéristiques socioéconomiques pourrait influencer leur perception de l'accessibilité. D'autre part il cherche à savoir si la seule réorganisation du réseau de transport est suffisante ou bien si elle aurait été plus « performante » pour réduire le différentiel d'accessibilité, entre les modes motorisés privés et collectifs, en étant couplée avec d'autres mesures.

Les sections II et III permettent une analyse semi-désagrégée de l'accessibilité en fonction des caractéristiques socioéconomiques des individus puis du type d'emploi occupé. Ce sont ainsi les individus localisés dans les quartiers périphériques à forte densité de logements sociaux pour lesquels l'écart entre le coût généralisé standard et différencié est le plus fort (négativement). Or, seuls certains de ces quartiers bénéficient de l'amélioration de l'offre de transports en commun. A l'inverse, les individus localisés au centre-ville qui perçoivent leur niveau d'accessibilité meilleur qu'il ne l'est réellement ont plutôt tiré profit de la réorganisation du réseau de transports en commun. L'analyse de l'accessibilité à partir du type d'emploi occupé montre qu'en raison du volume d'emplois offerts mais également de leur localisation, les actifs exerçant dans le secteur tertiaire bénéficient d'un niveau d'accessibilité aux emplois supérieur à ceux exerçant dans le secteur secondaire. Par ailleurs, si l'accès aux emplois secondaires est fortement contraint par l'utilisation de la voiture particulière, l'accès aux emplois tertiaires est moins soumis, pour les actifs résidant dans le centre-ville ou à proximité d'une ligne de transport en commun performante, à l'usage du mode privé.

Ces constats, renforcés par les conclusions de l'évaluation du chapitre précédent, permettent de réaffirmer que disposer d'une voiture permet un meilleur accès à l'emploi. Ainsi, nous posons la question de savoir si associer à la réorganisation du réseau de transports en commun d'autres « mesures » aurait pu permettre de réduire l'écart entre les deux modes voire, pour certains quartiers renverser la tendance.

La section IV montre au travers de trois scénarii, visant à accroître le coût généralisé des automobilistes ou à réduire celui des usagers des transports en commun, que le niveau d'accessibilité automobile reste globalement toujours

## *CHAPITRE 6*

---

le meilleur. Seul le doublement des fréquences sur l'ensemble des lignes de bus et de tramway permettrait de réduire sensiblement le différentiel d'accessibilité entre les deux modes pour la quasi totalité des zones habitées.

## Conclusion de la partie III

Cette troisième partie mobilise le Système d'Information Géographique, construit précédemment, pour apporter un nouvel éclairage à l'évaluation de la politique de transport menée à Strasbourg dans les années 90.

Le chapitre 5 offre des éléments pouvant être mobilisés pour analyser la cohérence entre les objectifs de la politique de transport, annoncés par le PDU, et les résultats générés par les investissements entrepris et, notamment, la mise en service de quatre lignes de tramway. Le premier objectif, visant à réduire le différentiel d'accessibilité entre l'automobile et les transports en commun, est partiellement atteint. Si seuls 1/3 des actifs voient leur niveau d'accessibilité en transport en commun s'améliorer, les actifs ayant vu leur niveau d'accessibilité diminuer résident dans des zones offrant une très bonne accessibilité et ce, tant avant qu'après la réorganisation du réseau de transports en commun. Les deuxième et troisième objectifs relèvent de l'aménagement urbain. Ils cherchent à homogénéiser le niveau d'accessibilité au centre-ville, en transports en commun, depuis les différents quartiers et, par là même, renforcer la centralité de Strasbourg. L'accès aux emplois du centre-ville s'avère meilleur en transports en commun qu'en voiture particulière. Le développement de l'offre en transports en commun a, par ailleurs, permis d'améliorer ou de maintenir le niveau d'accessibilité sur plus de la moitié du territoire. Toutefois, parmi les quartiers les plus enclavés au début des années 90, tous n'ont pas bénéficié d'une amélioration de leurs conditions d'accès au centre-ville et à ses emplois.

L'analyse menée au chapitre 5 évalue les infrastructures réalisées et leur impact sur la concurrence modale et l'accès au centre-ville. Elle ne considère que les réalisations effectives sans envisager d'autres scénarii possibles. Par ailleurs, elle pose l'hypothèse que tous les actifs résidant dans une même zone sont identiques. Pour lever ces limites, le chapitre 6 poursuit cette évaluation en mettant en œuvre des scénarii prospectifs et hypothétiques tant en termes de perception de l'accessibilité que de politique de transport. Une analyse de la perception du niveau d'accessibilité, en fonction des caractéristiques socioéconomiques des individus puis du type d'emploi occupé, souligne deux enseignements principaux. D'une part, ce sont les individus localisés dans les

### *CONCLUSION DE LA PARTIE III*

---

quartiers périphériques à forte proportion de logements sociaux pour lesquels l'écart entre le coût généralisé réel et perçu est le plus fort (négativement), à l'inverse des résidents du centre-ville. D'autre part, le niveau d'accessibilité aux emplois est supérieur pour les actifs exerçant dans le secteur tertiaire que pour ceux exerçant dans le secteur secondaire. Par ailleurs, l'accès aux emplois secondaire est fortement contraint par l'utilisation de la voiture particulière contrairement à l'accès aux emplois tertiaires, notamment pour les actifs résidant dans le centre-ville ou à proximité d'une ligne de transports en commun performante. L'usage contraint de la voiture particulière pour certains actifs nous amène à nous poser la question de scénarii possibles pour réduire le différentiel d'accessibilité entre la voiture et les transports en commun. Des trois scénarii étudiés (taxation des automobilistes, limitation des vitesses automobiles, amélioration des fréquences des transports en commun), seul le dernier permettrait de rapprocher le niveau d'accessibilité en transports en commun de celui de la voiture particulière.

Si la réorganisation du réseau de transports en commun ne répond que partiellement aux objectifs définis par le Plan de Déplacements Urbains, il semble difficile, compte-tenu des infrastructures mises en place, d'obtenir des résultats bien meilleurs. Si la performance de l'automobile reste supérieure à celle des transports en commun à l'échelle de notre aire d'étude, ce n'est pas le cas pour l'accès au centre-ville où les transports en commun, grâce à une amélioration de l'offre, ont su rester meilleurs. Au vu de nos résultats, les efforts ne doivent pas prioritairement porter sur un accroissement du coût généralisé des automobilistes mais plutôt sur une amélioration toujours plus importante de la performance des transports en commun. C'est d'ailleurs cette optique qui a été envisagée à Strasbourg où le réseau de tramway a été encore étendu en 2007 et 2008. L'autre point sensible mis en évidence par notre travail concerne la perception de l'accessibilité par les individus. Si une décomposition par sexe et niveau d'étude puis par type d'emploi occupé est intéressante, elle mérite d'être étendue à d'autres critères.

# Conclusion générale

Ce travail de thèse s'inscrit dans le contexte des mutations urbaines à l'œuvre sur le territoire français depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle. L'étalement de la ville corrélé à « la spirale de l'automobilisation des ménages » [65] a reconfiguré l'espace urbain autour d'une nouvelle proximité où les barrières ne sont plus physiques mais temporelles.

Pourtant, depuis les années 90, on assiste à un retour à la lenteur dans les centres-villes où la tendance n'est plus la construction de voies routières rapides mais la mise en service de transports en commun en site propre de surface. Si cette inflexion des tendances peut être interprétée comme une réponse à la congestion ou à la pollution urbaine, elle relève également d'une volonté de réorganiser la ville.

Dans ce contexte, nous mobilisons et, par là même, « redécouvrons » le concept d'accessibilité pour comprendre cette évolution récente. Le terme « redécouverte » mérite d'être précisé. Si l'accessibilité est un concept fréquemment utilisé en géographie, les économistes (des transports) l'avaient mis à l'écart depuis quelques dizaines d'années en se concentrant sur les avantages en termes de gains de temps procurés par les infrastructures de transport. Le concept d'accessibilité, en mobilisant conjointement la vitesse et la densité, réconcilie ainsi l'espace et le temps. Dès lors, cette thèse envisage les mutations urbaines, et les politiques de transport corrélées, sous l'angle de l'accessibilité. Elle propose la mise en pratique du concept d'accessibilité gravitaire pour évaluer une politique de transport à partir de l'exemple strasbourgeois. Le volet théorique sur la cohérence de cet indicateur avec le calcul économique traditionnel se double d'un volet empirique sur la mise en œuvre de mesures d'accessibilité.



## I La démarche de travail

Afin d'envisager l'application de l'indicateur d'accessibilité gravitaire comme une composante de l'évaluation économique, nous adoptons une démarche en deux temps mêlant principalement l'économie, la géographie et l'ingénierie des transports.

La première étape vise à justifier le choix de cet indicateur d'accessibilité parmi l'ensemble des indicateurs d'accessibilité présents dans la littérature. Les principaux critères de choix relèvent de la cohérence interne de cet indicateur ainsi que de son adéquation avec la théorie micro-économique. Les indicateurs d'accessibilité gravitaire sont alors confrontés au respect des axiomes de Weibull. Par la suite, sont rappelés l'état de l'art de la cohérence entre modélisation des comportements de déplacements et accessibilité gravitaire puis les liens entre accessibilité gravitaire et calcul de surplus.

Une fois éprouvée la robustesse de l'indicateur, nous nous attachons à sa mise en œuvre en milieu urbain, sur l'aire d'étude strasbourgeoise. Des finalités d'utilisation de la mesure de l'accessibilité gravitaire découlent les conditions de sa mise en pratique. Si la mesure de l'accessibilité gravitaire ne nécessite pas toujours l'utilisation d'un Système d'Information Géographique, l'apport d'un tel outil est considérable dans l'optique d'une évaluation économique. Ainsi, notre travail vise principalement à évaluer la cohérence de la politique de transport avec les objectifs annoncés dans le Plan de Déplacements Urbains de Strasbourg. Dans ce cadre, des calculs de surplus de l'utilisateur sont alors envisagés pour identifier les « gagnants » et les « perdants » dans les différents scénarii envisagés. Nous menons dès lors une étude comparée des niveaux d'accessibilité pour les automobilistes et usagers des transports en commun et ce, pour les situations antérieures et postérieures à la réorganisation du réseau de transports en commun. Dans le contexte rétroactif de notre travail, la mise en place d'un SIG, couplée à un modèle de transport, permet de modéliser au plus près l'offre de transport. La connexion entre les deux outils facilite la reconstitution des conditions d'accès aux emplois des différents types d'utilisateurs.

La difficulté d'une étude en milieu urbain réside principalement dans l'hétérogénéité de l'offre de transport et d'opportunités en fonctions des quartiers d'une part, et l'importance d'une variation (même minime) des coûts de déplacements sur le niveau d'accessibilité, d'autre part. Pour pallier de telles

limites, notre SIG repose sur un découpage zonal du territoire en zones de 250 mètres x 250 mètres. L'accessibilité d'une zone étant établie en sommant l'accessibilité depuis cette zone à l'ensemble des autres zones du territoire, il convient de travailler à partir de vitesses très précises. C'est ainsi qu'un modèle à quatre étapes a été mobilisé, non pas pour prévoir la demande de transport automobile mais pour la reconstituer *a posteriori* et établir ensuite, à partir d'une courbe débit-vitesse, la vitesse réelle sur chacun des tronçons du réseau routier de l'aire d'étude. Parallèlement, les conditions de circulation sur le réseau de transports en commun sont reconstituées à partir des fiches horaires fournies par la CTS.

## II Les principaux résultats et apports

Notre travail établit la pertinence, à double titre, des mesures d'accessibilité gravitaires dans le cadre de l'évaluation des politiques de transport et/ou d'aménagement du territoire. Au-delà de sa cohérence avec le calcul économique, l'indicateur d'accessibilité gravitaire peut, lorsqu'il est associé à un SIG, fournir des informations précises pouvant être facilement interprétées par l'ensemble des acteurs impliqués dans la décision publique.

Le chapitre 1 répond à la critique de Miller [127] qui reproche à l'indicateur gravitaire de manquer de fondement comportemental. Il démontre ainsi que le calcul du surplus fait nécessairement référence à un modèle de comportement qui objective les préférences des individus. Parmi ces modèles, on trouve le modèle d'interaction spatiale gravitaire. De ce modèle de comportement peut être déduit un indicateur d'accessibilité qui aura l'avantage de représenter de manière cohérente le surplus des individus.

Parallèlement, les mesures gravitaires ont fait l'objet de reproches quant à leur approche trop grossière du territoire et de la population concernée. Ainsi Dong *et al.* [60] soulignent que l'accessibilité est la même pour chaque zone indépendamment de l'hétérogénéité de la population et quelle que soit la taille du territoire. Notre travail réfute ces deux critiques en adoptant un découpage du territoire en micro-zones de 250 mètres x 250 mètres qui limite les disparités, tant en termes d'offre de transport que d'opportunités, au sein d'une même micro-zone. A ce micro-zonage est associé une segmentation par type de population. En mesurant l'accessibilité aux emplois, notre étude s'intéresse exclusivement aux individus actifs (ou potentiellement actifs). Il

## CONCLUSION GENERALE

---

est toutefois possible de se concentrer sur un autre segment tel que les lycéens, en mesurant l'accessibilité aux établissements d'enseignement secondaire. Un autre type de segmentation est opéré, non pas à partir du type d'opportunités recherchées, mais à partir des caractéristiques socioéconomiques. Dès lors, la différence entre les individus s'établit sur la sensibilité au coût généralisé. La difficulté réside alors dans la mesure de cette sensibilité en fonction des caractéristiques individuelles.

Mesurer l'accessibilité en considérant un découpage zonal très fin nécessite une représentation de l'offre de transport précise afin d'éviter des approximations dont les répercussions sur les résultats pourraient être cruciales. Pour ce faire, nous réalisons le couplage d'un SIG et d'un modèle de transport. L'interaction de ces deux composantes permet de contourner la représentation spatiale grossière des modèles de transport et la représentation limitée de l'offre de transport dans les SIG. Ainsi, à une représentation quasi exhaustive de l'ensemble des tronçons de transport de notre aire d'étude, s'ajoute une prise en compte de la congestion pour les automobilistes. Pour les usagers des transports en commun, les temps d'attente des véhicules au départ et aux correspondances sont intégrés en fonction de l'heure de la journée.

Ces apports, tant techniques que didactiques, permettent non seulement de réhabiliter les mesures gravitaires de l'accessibilité mais également d'en faciliter la compréhension et, de ce fait, l'utilisation par les différents acteurs impliqués dans les problématiques urbaines et de transport (de la même façon, au niveau interurbain, les travaux issus du projet ORATE s'inscrivent dans une réflexion politique sur les questions de cohésion territoriale [68]).

En réhabilitant l'indicateur d'accessibilité gravitaire, notre travail propose une méthodologie standard qui peut être appliquée à d'autres agglomérations ou territoires urbains. Toutefois, loin de n'être qu'un cas d'étude, les mesures d'accessibilité gravitaires réalisées sur l'aire d'étude strasbourgeoise fournissent des résultats intéressants tant en termes d'évaluation de politiques urbaine et de transport que de prospective.

Malgré la réorganisation du réseau de transport en commun et la mise en service de quatre lignes de tramway entre 1993 et 2005, la voiture particulière apparaît, sur un territoire composé des communes de Strasbourg et Illkirch-Graffenstaden, comme le mode offrant la meilleure accessibilité à l'ensemble du territoire. Les transports en commun ne peuvent la concurrencer en raison

## *CONCLUSION GENERALE*

---

d'une offre moins performante en termes de temps de parcours. L'usage de la voiture s'avère presque indispensable pour un actif occupant un emploi dans le secteur secondaire. Ces emplois sont en effet moins bien desservis par les transports en commun que les emplois tertiaires.

Quel que soit le mode considéré, le niveau d'accessibilité diminue avec l'éloignement au centre. La concentration des emplois apparaît comme un élément essentiel pour expliquer un tel résultat. Toutefois, certaines particularités méritent d'être exposées. L'accessibilité en voiture particulière se présente sous forme de cercles concentriques au centre-ville et témoigne ainsi de la capillarité du réseau routier. A l'inverse, la représentation en doigts de gants de l'accessibilité en transports en commun souligne l'impact de la structure du réseau de bus et de tramway sur le niveau d'accessibilité.

Cette structure en étoile du réseau de transports en commun traduit le rôle conféré à ces derniers. Les transports en commun n'ont pas vocation à desservir tous les points du territoire entre eux mais à les relier au centre-ville. Les transports en commun, au-delà de leur vocation à permettre le déplacement, sont avant tout un outil de gestion urbaine. Ainsi, l'accessibilité au centre-ville est, depuis la plupart des zones, meilleure en transports collectifs qu'avec le mode privé.

Les ambitions de réductions des inégalités territoriales grâce à la réorganisation du réseau de transports en commun et présentées dans le PDU de Strasbourg ne sont que partiellement atteintes. Ainsi, malgré une réduction (ou stagnation des temps de parcours), la hausse des coûts monétaires est telle qu'elle ne peut être toujours compensée par une amélioration de l'offre de transports en commun. Les quartiers pour lesquels le niveau d'accessibilité aux emplois du centre-ville est le plus faible sont, pour certains, des quartiers d'habitat social. Dans ces derniers, le coût de déplacement est d'autant plus fortement ressenti que les actifs présentent un niveau de diplôme relativement plus faible que dans les autres quartiers de l'aire d'étude.

Si le coût généralisé est un paramètre central dans la mesure de l'accessibilité gravitaire, sa perception par les individus est un élément crucial. Ainsi, un même niveau de coût généralisé peut être perçu différemment selon les individus. Si nous conservons dans notre étude un niveau identique pour tous les individus, un scénario est réalisé pour envisager l'impact d'une

prise en compte d'une sensibilité différenciée au coût généralisé. Cette différenciation, opérée en fonction du sexe et du niveau d'étude, montre que les réorganisations en termes d'offre de transport ne sont pas perçues identiquement par tous les individus. Un même niveau d'accessibilité sera perçu plus faiblement par les résidents des quartiers d'habitat social que par ceux du centre-ville. Par ailleurs, les actions menées dans les années 90 ne se sont pas particulièrement concentrées sur les quartiers depuis lesquels les actifs se sentent « enclavés ». Une réduction du temps de transport ou du coût monétaire pourrait être envisagée pour réduire le différentiel entre les niveaux d'accessibilité « différenciés » et « standard ».

Cette sensibilité au coût de déplacement est également à relier avec les valeurs du temps proposées dans les circulaires françaises et utilisées dans notre travail. Ainsi, tandis que les valeurs du temps tendent à augmenter avec le niveau d'étude, la sensibilité au coût généralisé du déplacement tend, elle, à se réduire. Cette contradiction apparente peut être levée en invoquant les freins à la mobilité moins importants lorsque le niveau d'étude augmente. Le tramway, en améliorant l'offre de transports en commun, renforcerait dès lors la propension à se déplacer des individus les plus mobiles qui, au-delà d'une valeur du temps élevée, présentent une sensibilité au coût du déplacement relativement faible.

Les derniers résultats de notre travail s'inscrivent dans une dimension prospective. Dans l'objectif du PDU, différents leviers ont été examinés pour réduire le différentiel d'accessibilité entre la voiture particulière et les transports en commun. Des trois variantes ainsi examinées (l'augmentation du coût monétaire des automobilistes par le biais d'un péage urbain ou d'une taxe, l'accroissement du temps de déplacement en voiture particulière et l'amélioration des fréquences des transports en commun), l'amélioration des temps de parcours en transports en commun, par le biais d'une réduction des temps d'attente, présente les meilleurs résultats. Seule une réduction de 80% des vitesses automobiles permettrait d'atteindre un différentiel nul!

### III Les perspectives de travail

Les apports de notre travail soulignent son caractère exploratoire et mettent, de ce fait, en lumière différentes limites auxquelles il est confronté.

## CONCLUSION GENERALE

---

De ces limites ou faiblesses découlent des perspectives de travail tant pour améliorer le modèle existant que pour le développer.

La réalisation d'un SIG couplé à celle d'un modèle de transport nécessite à chaque étape du travail une série de choix. Les étapes préalables à la reconstitution des vitesses automobiles (intégration des différents paramètres au cours des étapes de génération, distribution, choix modal et affectation) et en transports en commun (hypothèses préalables à la reconstitution des vitesses en bus en 1993) en sont les principaux exemples. La prise de décision a été guidée, voire contrainte par la disponibilité des données. Aussi, le premier axe d'approfondissement de notre travail s'orientait-il vers une définition plus précise des conditions de déplacements. Pour les déplacements automobiles, une intégration initiale de l'ensemble des déplacements (y compris le trafic de transit ou les déplacements professionnels) associée à une boucle rétroactive dans le modèle à quatre étapes fournirait des résultats plus cohérents avec les conditions réelles de déplacement. Celle-ci nécessite alors d'associer une variété d'enquêtes de déplacements et de comptages routiers. Le souci de rendre compte des conditions réelles de circulation se retrouve pour les déplacements en transports en commun. Le caractère rétroactif de notre travail nous empêche de vérifier la cohérence des fiches horaires avec la réalité du terrain. Toutefois, l'intégration des conditions de circulation « en temps réel » semble un élément essentiel dans la détermination de l'accessibilité.

Au-delà du temps réellement passé en véhicule, se pose la question de sa perception. La question de la prise en compte du confort, appliquée dans notre travail selon les recommandations françaises en vigueur, mériterait d'être envisagée plus en détail en tenant compte notamment du type de véhicule utilisé (bus ou tramway) et des conditions de déplacements (debout ou assis, par exemple). De même, une prise en compte différenciée de la sensibilité au coût généralisé selon les individus permettrait d'affiner la représentation de l'accessibilité.

Les mutations qu'a connues l'espace urbain durant les dernières décennies ne permettent plus de réduire la ville à la ville-centre mais de considérer l'ensemble de son agglomération voire, pour une étude sur la mobilité, de l'ensemble de son aire urbaine. L'une des limites de notre travail est de se cantonner à deux communes. Certes, des raisons ont été avancées pour expliquer ce choix (évaluation de l'impact du tramway et concentration de 73%

## CONCLUSION GENERALE

---

des emplois de la communauté urbaine de Strasbourg sur les deux communes considérées). Toutefois, un second axe d'approfondissement serait d'étendre notre périmètre à l'ensemble de la communauté urbaine de Strasbourg, voire de l'aire urbaine, pour envisager plus largement l'évolution des conditions de mobilité et leur impact éventuel sur la localisation des ménages. Pour envisager l'ensemble des alternatives offertes aux individus, une telle extension du périmètre doit se doubler d'une prise en compte de l'intermodalité avec l'intégration du réseau ferré régional et des parcs relais.

Notre travail, avec ses atouts et faiblesses, a ainsi servi de support à la création et au développement du projet MOSART (MOdélisation et Simulation de l'Accessibilité des populations aux Réseaux et aux Territoires), labellisé par l'ANR, au Laboratoire d'Economie des Transports. Ce projet, axé sur la mise en place d'un outil d'aide à la décision et à l'aménagement du territoire, vise à mettre en place des indicateurs d'accessibilité permettant la comparaison de scénarii de politique de transport pour l'aménagement du territoire et le développement durable sur l'ensemble de l'aire urbaine de Lyon. Il repose de ce fait sur un SIG-T multimodal et intègre un accès Webmapping pour visualiser les résultats et utiliser l'outil.

Si le développement de tels outils s'adresse en premier lieu aux collectivités et décideurs publics, la finalité consiste également à proposer une application aux particuliers et leur permettre de visualiser leur accessibilité en fonction des différentes alternatives qui s'offrent à eux. La prise en compte de contraintes personnelles tant en termes d'emplois du temps que de véhicules à disposition est devenue primordiale.

Un troisième axe de développement de notre travail s'appuie sur la Time Geography en développant une approche à partir d'un prisme spatio-temporel. Développée depuis les travaux fondateurs d'Hägerstrand dans les années 70 et pouvant être associée à des simulations multi-agents, la construction de prismes spatio-temporels permet de définir l'ensemble des « trajectoires individuelles » compte-tenu des contraintes individuelles. Le déplacement est alors envisagé comme une demande dérivée de la réalisation d'activités. Le développement d'un prisme spatio-temporel est un travail de longue haleine qui nécessite l'association d'un SIG performant, d'un modèle de transport et d'une connaissance fine des pratiques de déplacement.

Pour conclure, nous pouvons rappeler que notre travail doit être perçu

## *CONCLUSION GENERALE*

---

comme une étude exploratoire. Celle-ci combine les apports de différentes disciplines (économie des transports, économie spatiale, géographie, ingénierie des transports) pour associer un modèle de transport à un SIG et créer un outil novateur et fiable pour l'évaluation des politiques urbaines et de transport à partir de la mesure de l'accessibilité. Notre travail ne constitue pas une finalité mais se veut une première pierre pour le développement de nouveaux indicateurs. Une telle ambition ne peut être réalisée sans des données socio-économiques très précises et une offre de transport parfaitement reconstituée. La collaboration entre différents acteurs aux compétences complémentaires se révèle dès lors indispensable.



# Bibliographie

- [1] Agence de DEveloppement et d'Urbanisme de l'agglomération Strasbourg. Synthèse des analyses de l'enquête ménages déplacements. 2001.
- [2] Agence de DEveloppement et d'Urbanisme de l'agglomération Strasbourg. Plan local d'urbanisme, rapport de présentation. Version provisoire, mars 2003.
- [3] Agence de DEveloppement et d'Urbanisme de l'agglomération Strasbourg and Communauté Urbaine de Strasbourg. Déplacements et commerce. Impacts d'un transport en commun en site propre de surface sur le commerce. Le cas de l'agglomération strasbourgeoise. Rapport de l'ADEUS pour le CERTU, 2003.
- [4] Agence de DEveloppement et d'Urbanisme de l'agglomération Strasbourg and Communauté Urbaine de Strasbourg. Observatoire des effets du tramway. Rapport technique, 2003, 100 p.
- [5] M. Andersson and C. Karlsson. Knowledge accessibility and regional economic growth. CESIS- Electronic working paper studies. Paper No. 40, 2005.
- [6] P. Apparicio and A.M. Séguin. Measuring the accessibility of services and facilities for the residents of public housing in montréal. *Urban Studies*, Vol. 43(No. 1) :187–211, 2006.
- [7] Automobile Club. Bilan des 10 ans de budget annuel de l'automobiliste français. 1997.
- [8] Automobile Club. Budget de l'automobiliste français. 2007.
- [9] A. Ayong Le Kama. Sustainable growth, renewable resources and pollution. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 25 :1911–1918, 2001.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [10] J-P. Bailly and E. Heurgon. *Nouveaux rythmes urbains, quels transports ?* Ed. de l'aube, 2001, 224 p.
- [11] S. Baradaran and F. Ramjerdi. Performance of accessibility measures in europe. *Journal of Transportation and Statistics*, Vol. 4 :31–48, December 2001.
- [12] P. Bays and P. Christe. La stationnement. EPFL, 1994, 177 p.
- [13] G. Becker. A Theory of the Allocation of Time. *Economic Journal*, Vol. 75 :493–517, 1965.
- [14] M. E. Beesley. The Value of Time Spent in Travelling : Some New Evidence. *Economica*, Vol. 32(No. 126) :174–185, 1965.
- [15] M. Béguin and D. Pumain. *La représentation des données géographiques. Statistique et cartographie*. A. Colin, Paris, 1994, 192 p.
- [16] M. Ben-Akiva and S. R. Lerman. *Behavioural Travel Modeling*, chapter Disaggregate travel and mobility-choice models and measures of accessibility, pages 654–679. D. A. Hensher and P.R. Stopher (eds.), London, Croom-Helm edition, 1979.
- [17] L. Bertolini, F. le Clercq, and L. Kapoen. Sustainable accessibility : a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. *Transport Policy*, Vol. 12(No 3) :207–220, 2005.
- [18] C. Bhat, S. Handy, and al. Assessment of accessibility measures. Working paper, 2001.
- [19] E. Bloy, A. Bonnafous, J.M. Cusset, and B. Gerardin. *Evaluer la politique des transports*. Presses Universitaires de Lyon, 1977, 103 p.
- [20] A. Bonnafous. *Le siècle des ténèbres*. Economica, Paris, 1989, 184 p.
- [21] A. Bonnafous and S. Masson. Evaluation des politiques de transports et équité spatiale. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, Vol. 4 :547–572, 2003.
- [22] A. Bonnafous and H. Puel. *Physionomies de la ville*. Initiation économique. Les éditions ouvrières. 1983, 168 p.
- [23] P. Bonnel. *Prévoir la demande de transport*. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 2004, 415 p.
- [24] P. Bordin. *SIG : concepts, outils et données*. Lavoisier, Hermes edition, 2002, 260 p.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [25] J. Bouinot. Efficience économique des formes urbaines : compacité avec des tours comparée à l'étalement urbain. *Géographie Économie Société*, Vol. 8 :481–487, 2006/4.
- [26] R. Bourbonnais. *Econométrie*. Economica, Paris, 2003, 330 p.
- [27] M. Breheny. The Measurement of Spatial Opportunity in Strategic Planning. *Regional Studies*, Vol. 12 :463–479, 1979.
- [28] J. Bröcker. How to eliminate certain defects of the potential formula. *Environment and planning A*, Vol. 21 :817–830, 1989.
- [29] L.D. Burns. *Transportation, Temporal and Spatial Components of Accessibility*. Lexington, 1979, 152 p.
- [30] D. Caubel. Politique de transports et accès à la ville pour tous ? Une méthode d'évaluation appliquées à l'agglomération lyonnaise. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2, 2006.
- [31] C. Cauvin. Accessibilité de système et accessibilité locale. *FLUX Cahiers scientifiques internationaux Réseaux et Territoires*, Vol. 10(No 16) :39–48, 1994.
- [32] C. Cauvin. A systemic approach to transport accessibility. A methodology developed in Strasbourg : 1982-2002. *Cybergeo*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 311, Mis en ligne le 10 mai 2005, modifié le 26 avril 2007, 2005.
- [33] CERTU. *L'enquête ménages déplacements "Méthode standard"*. Coll. Références. CERTU, 1998, 295 p.
- [34] CERTU. *Evaluation des transports en commun en site propre : recommandations pour l'évaluation socio-économique des projets de TCSP*. CERTU, 2002, 143 p.
- [35] CERTU. *Ville accessible à tous et Activités commerciales*. Coll. Les rapports d'étude. CERTU, 2004, 90 p.
- [36] CERTU. *Calculs d'accessibilité. Impact des spécifications du réseau routier sur les calculs d'accessibilité. Données sources méthodes*. CERTU, 2006, 41 p.
- [37] CERTU. Les derniers chiffres de la mobilité des Enquête Ménages Déplacements. 2008.
- [38] R. Cervero, T. Rood, and B. Appleyard. Tracking accessibility : employment and housing opportunitiees in the San Francisco Bay Area. *Environment and Planning A*, Vol. 31 :125–1278, 1999.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [39] L. Chapelon. Modélisation multi-échelles des réseaux de transport : vers une plus grande précision de l'accessibilité. *Mappemonde*, (No 3) :28–36, 1996.
- [40] G. Chevasson. Le calcul économique à l'épreuve des contraintes du secteur des transports routiers. les cas de l'insécurité routière et de l'effet de serre. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2, 2007.
- [41] J.M. Choukroun. A general framework for the development of gravity type trip distribution models. *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 5 :177–202, 1975.
- [42] R.A. Cochrane. A possible economic basis for the gravity model. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 9 :34–49, 1975.
- [43] J.P. Coindet. La valorisation du confort. Les vicissitudes de l'approche de la qualité de service. *Métropolis*, Vol. 106-107 :43–46, 1998.
- [44] Commissariat Général du Plan. *Transports : choix des investissements et coût des nuisances*. La documentation française, 2001, 322 p.
- [45] Communauté Urbaine de Strasbourg. Plan de Déplacements Urbains. 2000.
- [46] Compagnie des Transports Strasbourgeois. Rapport d'activité de la CTS. 2005.
- [47] Cour des Comptes. Les transports publics urbains. 2005.
- [48] Y. Crozet. Le temps et les transports de voyageurs. In CEMT, editor, *Rapport de la Table Ronde 127 de la CEMT*, pages 27–69, Paris, 2005. OCDE.
- [49] Y. Crozet, A. Mercier, and N. Ovtracht. Distance spatiale, distance sociale... l'accessibilité peut-elle se substituer à la mixité? *Territoires 2030*, (No 4) :67–76, 2007.
- [50] K. Cullinane. An aggregate dynamic model of the parking compliance decision. *International Journal of Transport Economics*, Vol. XX :27–50, 1993.
- [51] M. De Lapparent. Les valeurs du temps dans les déplacements professionnels. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Paris I, 2004.
- [52] A. De Palma, F. Marshal, and Y. Nesterov. Metropolis : a modular system for dynamic traffic simulation. *Transportation Research Record*, Vol. 1607 :178–184, 1997.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [53] A.J. De Serpa. A theory of the economics of time. *Economic Journal*, Vol. 81 :828–845, 1971.
- [54] J. Denègre and F. Salgé. *Les systèmes d'information géographique*. PUF, 1996 (1ère édition), 128 p.
- [55] G. Deymier. Capitalisation immobilière des gains d'accessibilité : étude de cas sur l'agglomération lyonnaise. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2, 2005.
- [56] M. Didier and R. Prud'homme. *Infrastructures de transport, mobilité et croissance*. Conseil d'analyse économique. La Documentation Française, 2007, 248 p.
- [57] E.W. Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, Vol. 1 :269–271, 1959.
- [58] Direction Générale des Impôts. Evaluation forfaitaire des frais de carburant pour 2007. *Bulletin Officiel des Impôts*, 4G-1-08(No 11) :3, Janvier 2008.
- [59] T. Domencich and D. Mac Fadden. *Urban travel demand : a behavioural analysis*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1975, 215p.
- [60] X. Dong, M. Ben-Akiva, J. Bowman, and J. Walker. Moving from trip-based to activity-based measures of accessibility. *Transportation Research A*, Vol. 2 :163–180, 2006.
- [61] A. Downs. Why traffic congestion is here to stay...and will get worse. *Access*, Vol. 25 :19–25, 2004.
- [62] F. Drosbecke, M. Hallin, and Lefevre C. *Les graphes par l'exemple*. Ellipses, 2001, 288 p.
- [63] J. Dupuit. De la mesure de l'utilité des travaux publics. *Annales des Ponts et Chaussées*, (Mémoires et Documents, No 116, t. VIII) :332–375, 1844.
- [64] G. Dupuy. *La dépendance automobile : symptômes, analyses, diagnostic, traitements*. Anthropos, 1999, 160 p.
- [65] G. Dupuy. La spirale de l'automobilisation. *Flux*, Vol. 41 :69–70, 2000.
- [66] A. El-Geneidy and D. Levinson. Mapping accessibility over time. *Journal of Maps*, Vol. v2007 :76–87, 2007.
- [67] S. Erlander and N.F. Steward. *The Gravity model in transportation analysis. Theory and extensions*. Utrecht, The Netherlands, VSP BV, 1990, 226 p.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [68] ESPON. Projet ORATE 1.2.1. Service et réseaux de transport : tendances territoriales et infrastructures de base pour la cohésion territoriale. Résumé opérationnel du rapport final. 2006.
- [69] A. Evans. On the theory of the valuation and allocation of time. *Scottish Journal of Political Economy*, Vol. 19 :1–17.
- [70] A.S. Fotheringham and M.E. O’Kelly. *Spatial Interaction Models : Formulations and Applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 1989, 244 p.
- [71] P. Freney. Le tram, outil au service du développement urbain durable ? *TEC*, Vol. 184 :62–69, 2004.
- [72] P. Freney. Le tram, outil en faveur d’une ville durable ? *TEC*, Vol. 185 :2–59, 2005.
- [73] Ph. Frölich and K.W. Axhausen. Sensitivity of accessibility measurements to the underlying transport network model. Submitted to 2005 Transportation Research Board Meeting, July 2004.
- [74] M.E. Frost and N.A. Spence. The rediscovery of accessibility and economic potential : the critical issue of self-potential. *Environment and Planning A*, Vol. 27 :1833–1948, 1995.
- [75] V. Gamon and E. Le Van. Les Bilans de l’article 14 de la LOTI : les raisons d’une mise en oeuvre discrète. Rapport PREDI, ISIS, LET, CERIEP, 1999.
- [76] C. Genre-Grandpierre and J.C. Foltête. Morphologie urbaine et mobilité en marche à pied. *Cybergeog*, article 248, mis en ligne le 07 octobre 2003, modifié le 07 mai 2007, 2003.
- [77] K.T. Geurs and Wee B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies : review and research directions. *Journal of Transport Geography*, Vol. 12 :127–140, 2004.
- [78] K.T. Geurs and J.R. Ritsema Van Eck. Accessibility measures : review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transport scenarios, and related social and economics impacts. Rivm, Utrecht University, 2001.
- [79] M. Glachant. Un péage urbain à Paris ? Une évaluation des effets distributifs de quatre scénarios. Document de travail, 2005.
- [80] M. Goodchild. The current status of gis and spatial analysis. *Journal of geographical systems*, Vol. 2 :5–10, 2000.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [81] P.B. Goodwin. Comprendre la congestion. *Recherche Transports Sécurité*, Vol. 24 :23–28, 1992.
- [82] R. Guesnerie. De l'utilité du calcul économique public. *Economie et Prévision*, Vol. 4-5(No 175) :1–14, 2006.
- [83] T. Hägerstrand. What about People in Regional Science. *Papers of the Regional Science Association*, Vol. 24 :7–21, 1970.
- [84] H. Hammadou and H. Jayet. La valeur du temps pour les déplacements à longue distance : une évaluation sur données françaises. *les Cahiers Scientifiques du Transport*, Vol. 42 :3–23, 2002.
- [85] S.L. Handy and K.J. Clifton. Local shopping as a strategy for reducing automobile travel. *Transportation*, Vol. 28 :317–346, 2001.
- [86] S.L. Handy and D.A. Niemeier. Measuring accessibility : an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A*, Vol. 29 :1175–1194, 1997.
- [87] W.G Hansen. How accessibility shapes land use. *Journal of American Institute of Planners*, (No 25) :73–76, 1959.
- [88] J.M. Huriot. *La ville ou la proximité organisée*. *Economica*, 1998, 237 p.
- [89] J.M. Huriot and J. Perreur. *Encyclopédie d'économie spatiale*, chapter La centralité, pages 47–53. Bibliothèque de Science Régionale. *Economica*, 1994.
- [90] J.M. Huriot and J. Perreur. *Encyclopédie d'économie spatiale*, chapter L'accessibilité, pages 55–59. Bibliothèque de Science Régionale. *Economica*, 1994.
- [91] K.R Ihlandfeldt and M.D. Raper. The intrametropolitan location of new firms. *Land Economics*, Vol. 66 :182–198, 1990.
- [92] D. R. Ingram. The concept of accessibility : a search for an operational form. *Regional Studies*, Vol. 5 :101–107, 1971.
- [93] INSEE. Aire urbaine de Strasbourg : une population qui augmente. *Chiffres pour l'Alsace*, Revue No 42, 2007.
- [94] INSEE and Région Alsace. L'essentiel sur le revenu en alsace. 2004.
- [95] S. Jara-Diaz. A general micro-model of user's behavior : the basic issues. In *Preprints of the Seventh International Conference on Travel Behaviour Research*, Valle Nevado, Santiago, Chile, 1994.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [96] C. Jemelin, V. Kaufmann, J. Barbey, T. Klein, and G. Pini. *Politique de transport et inégalités sociales d'accès. Analyse comparative de huit agglomérations européennes*. 2005, 150 p.
- [97] B. Jiang, C. Claramunt, and M. Batty. Geometric accessibility and geographic information : extending desktop GIS to space syntax. *Computers Environment and Urban Systems*, Vol. 23 :127–146, 1999.
- [98] B. Johansson, J. Klaesson, and M. Olsson. Time distances and labor market integration. *Regional Science*, Vol. 81 :305–327, 2002.
- [99] I. Joly, N. Ovtracht, and V. Thiebaut. *La croissance des budgets-temps de transport en question : nouvelles approches*. Rapport pour le PREDIT, GO No 1. 2006, 196p.
- [100] V. Kauffmann. Temps et pratiques modales. Le plus court est-il le mieux? *Recherche Transports et Sécurité*, Vol. 75 :131–143, 2002.
- [101] V. Kaufmann and E. Widmer. L'acquisition de la mobilité au sein des familles. état de la question et hypothèses de recherche. *Espaces et sociétés*, (No. 120-121) :199–217, 2005.
- [102] M. Kawabata. Job accessibility by travel mode in U.S. metropolitan areas. *Theory and Applications of GIS*, Vol. 11(No 2) :165–172, 2003.
- [103] H.M. Kim and Kwan M.P. Space-time accessibility measures : A geocomputational algorithm with a focus on the feasible opportunity set and possible activity duration. *Journal of Geographical Systems*, Vol. 5 :71–91, 2003.
- [104] P.L. Knox. Measures of accessibility as social indicators : a note. *Social Indicators Research*, Vol. 7 :367–377, 1980.
- [105] J.G Koenig. La théorie économique de l'accessibilité urbaine. *Revue Economique*, Vol. 2 :275–297, 1974.
- [106] J.G Koenig. Le service rendu aux usagers : nature et évaluation. In *Les transports et la ville. Analyses et diagnostics. Actes du séminaire des Acteurs des transports et de la ville.*, Paris, 1998, 263 p. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- [107] M-P. Kwan. Space-time and integral measures of individual accessibility : A comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis*, Vol. 30(No 3) :191–216, July 1998.
- [108] M-P. Kwan. Gender, the Home-Work Link, and Space-Time Patterns of Non employment Activities. *Economic Geography*, Vol. 75 :370–394, No 4 1999.



## BIBLIOGRAPHIE

---

- [109] M-P. Kwan. Gis methods in time-geographic research : geocomputation and geovisualization of human activity patterns. *Geografiska Annaler*, Vol. 86 B(No 4) :267–280, 2004.
- [110] M-P. Kwan and X-D. Hong. Network-based constrains-oriented choice set formation using GIS. *Geographical Systems*, Vol. 5 :139–162, 1998.
- [111] M.P. Kwan and J. Weber. Scale and accessibility : Implications for the analysis of land use-travel interaction. *Applied Geography*, Vol. 28 :110–123, 2008.
- [112] V. Lainez. Les déterminants du choix du titre de transport public urbain : une approche par la méthode des préférences déclarées. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2, 2003.
- [113] J.P. Lavielle. Evolution des rythmes sociaux et étalement de l’heure de pointe. Travail de Fin d’Etude, ENTPE, 2008.
- [114] E. Le Breton. *Bouger pour s’en sortir. Mobilité quotidienne et intégration sociale*. Armand Colin, 2005, 247 p.
- [115] B. Lenntorp. Paths in space-time environments : a time-geographic study of movement possibilities of individuals. *Lund Studies in Geography, Serie B*, Vol. 44, 1976.
- [116] F. Leurent. Un algorithme pour résoudre plusieurs modèles d’affectation du trafic : la procédure d’égalisation par transvasement. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, Vol. 30 :31–49, 1995.
- [117] D.M. Levinson. Accessibility and the journey to work. *Journal of Transport Geography*, Vol. 6(No. 1) :11–21, 1998.
- [118] B.J. Linneker and N.A. Spence. Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London Orbital Motorway on Britain. *Environment and Planning A*, Vol. 24 :1137–1154, 1992.
- [119] A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, and D.W. Rhind. *Geographical Information System and Science*, volume 2nd Edition. John Wiley and Sons, Ltd, 2005, 536 p.
- [120] J.C. Martin, J. Gutierrez, and C. Roman. Data Envelopment Analysis (DEA) Index to Measure the Accessibility Impacts of New Infrastructure Investments : The Case of the High-speed Train Corridor Madrid-Barcelona-French Border. *Regional Studies*, Vol. 38.6 :697–712, 2004.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [121] S. Masson. Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2, 2000.
- [122] M. McNally. The Four Step Model. Working paper, 2000.
- [123] M. Messeilis. *Strasbourg. Chroniques d'urbanisme.*, chapter 1945-1993 : du réseau de voirie au plan de déplacements urbains, pages 73–80. ADEUS/Éditions de l'Aube, 1994.
- [124] A. Meyère. Evaluation des projets d'infrastructures de transports collectifs : l'évolution des pratiques à l'étranger. *Transports*, Vol. 406 :93–101, 2001.
- [125] A. Meyère and L. Debrincat. Evaluation des projets d'infrastructures de transports collectifs en ile-de-france : pour une évolution des pratiques. *Transports*, Vol. 396 :249–258, 1999.
- [126] H.J. Miller. Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems. *International Journal of Geographical Systems*, Vol. 5 :287–301, 1991.
- [127] H.J. Miller. Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks : Basic theory and computational methods. *Geographical Analysis*, Vol. 31 :187–202, 1999.
- [128] H.J. Miller. *Activities in Space and Time*, chapter Handbook of Transport 5 : Transport Geography and Spatial Systems, pages 647–660. P. Stopher, K. Button, K. Haynes and D. Hensher (eds.), Pergamon/Elsevier Science edition, 2004.
- [129] H.J. Miller and Y.H. Wu. Gis software for measuring space-time accessibility in transportation planning and analysis. *GeoInformatica*, Vol. 4 :141–159, 2000.
- [130] Ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer. *Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport*. 2004, mise à jour 2005.
- [131] Ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer and Conseil Général des Ponts et Chaussées. Transports urbains et calcul économique. Document de travail 97-1, 1997.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [132] R.G. Mishalani, M. McCord, and J. Wirtz. Passenger Wait Time Perceptions at Bus Stops : Empirical Results an Impact on Evaluating Real-Time Bus Arrival Information. *Journal of Public Transportation*, Vol. 9(No 2) :89–106, 2006.
- [133] H.J.H. Mogridge and D.J. Holden. The Downs/Thomson paradox. *International Journal of Transports Economics*, Vol. XIV(No 3) :283–311, 1987.
- [134] M.J.H. Mogridge. Transport, land use and energy interaction. *Urban Studies*, Vol. 22(No 6) :481–492, 1985.
- [135] M.J.H. Mogridge. Road pricing : the right solution for the right problem ? *Transportation Research part A*, Vol. 20(No 2) :157–167, 1986.
- [136] J.M. Morris, P.L. Dumble, and M.R Wigan. Accessibility indicators for transport planning. *Transport Reasearch*, Vol. 13 A :91–109, 1979.
- [137] H. Neuberger. User benefit in the evaluation of transport and land use plans. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 5 :52–75, 1971.
- [138] J.M. Offner. Les "effets structurants" du transport : mythe politique, mystification scientifique. *L'espace géographique*, Vol. 3 :233–242, 1993.
- [139] J. Ortuzar, D. De, and L.G. Willumsen. *Modeling Transport*. Wiley, 2001 (Third Edition), 454 p.
- [140] J. Petit. La mobilité comme figure de l'expérience sociale : conséquences sur la caractérisation de la demande de transport. *Recherche Transports Sécurité*, Vol. 76 :190–207, 2002.
- [141] G.H. Pirie. Measuring accessibility : a review and proposal. *Environment and Planning A*, Vol. 11 :299–312, 1979.
- [142] J. Poulit. Urbanisme et transport : les critères d'accessibilité et de développement urbain. SETRA, Division Urbaine, Ministère de l'Équipement, 1974.
- [143] B. Prost. Quel périurbain aujourd'hui ? *Géocarrefour*, Vol. 76(No 4) :283–288, 2001.
- [144] E. Quinet. *Principes d'Économie des Transports*. Economica, Paris, 1998, 419 p.
- [145] E. Quinet, L. Touzery, and H. Triebel. *Économie des transports*. Economica, 1982, 283 p.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [146] C. Raux, S. Masson, and V. Lichère. Modèle stratégique de déplacements de l'agglomération lyonnaise. Version 1 : Tests de sensibilité, erreurs et incertitudes liées à la prévision. Rapport LET, SEMALY, SYTRAL, DRAST, Communauté Urbaine de Lyon, Conseil général du Rhône, 1998.
- [147] C. Raux, A. Mercier, and N. Ovtracht. Evaluation économique des transports et indicateurs d'accessibilité : l'apport des SIG. Article à paraître dans *Cybergeo*, 2008.
- [148] C. Raux and S. Souche. The Acceptability of Urban Road Pricing. A Theoretical Analysis Applied to Experience in Lyon. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 38, Part 2 :191–216, 2004.
- [149] C. Raux and S. Souche. Comment améliorer l'acceptation du péage urbain ? In *Congrès ATEC*, Janvier 2005.
- [150] C. Raux, S. Souche, and A. Mercier. *Le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport*, chapter De la modélisation des comportements au calcul économique : l'équité des politiques de transport, pages 317–339. Economica, Paris, 2007.
- [151] J. Rawls. *A Theory of Justice*. Harvard University Press, 1971, 628 p.
- [152] Sareco. Le temps de recherche d'une place de stationnement. Rapport dans le cadre du PREDIT pour l'ADEME, 2005, 105 p.
- [153] C. Segonne. Comportement de choix d'itinéraires. Le cas des automobilistes marseillais confrontés au péage de financement. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2, 1998.
- [154] A. Sen and T.E. Smith. *Gravity Models of Spatial Interaction Behaviour*. Springer, Berlin, 1995, 571 p.
- [155] M.L. Small and C. Newman. Urban poverty after the truly disadvantaged : The rediscovery of the family, the neighborhood, and culture. *Annual Review of Sociology*, Vol. 27 :23–45, 2001.
- [156] S. Song. Some tests of alternative accessibility measures : a population density approach. *Land Economics*, Vol. 72(No 4) :474–482, 1996.
- [157] J. Stambouli. Les territoires du tramway moderne : de la ligne à la ville durable. *Développement durable et territoire*, Dossier 4 : La ville et l'enjeu du Développement Durable (URL : <http://developpementdurable.revues.org/document3579.html>. Consulté le 25 juin 2008.), 2007.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [158] K. Stanilov. Accessibility and Land Use : The Case of Suburban Seattle, 1960-1990. *Regional Studies*, Vol. 37 :783–794, No 8 2003.
- [159] B. Steck and J. Varlet. *La ville aux limites de la mobilité*, chapter L'enclavement fonctionnel urbain ou la mobilité génératrice de mise à distance, pages 237–249. PUF, 2006.
- [160] J.Q. Steward. An inverse distance variation for certain social influences. *Science*, Vol. 93 :89–90, 1941.
- [161] R.J Sweet. An aggregate measure of travel utility. *Transportation research Part B*, Vol. 31(No. 5) :403–416, 1997.
- [162] TAS. Competition in the U.K Transport Industry. 2004.
- [163] T. Thevenin. Quand l'information géographique se met au service des transports publics urbains. Une approche spatio-temporelle appliquée à l'agglomération bisontine. Thèse pour le doctorat ès Géographie, Université de Franche-Comté, 2002.
- [164] J.C. Thill. Geographic information systems for transportation in perspective. *Transportation research Part C*, Vol. 8 :3–12, 2000.
- [165] J.F. Thisse. *Le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport*, chapter Equité, efficacité et acceptabilité dans la localisation des équipements collectifs, pages 361–401. Economica, 2007.
- [166] M.H. Vandersmissen, Villeneuve P., and M. Thériault. Mobilité et accessibilité : leurs effets sur l'insertion professionnelle des femmes. *Espace géographique*, Vol. 4 :298–305, 2001.
- [167] R.W. Vickerman. Accessibility, attraction and potential : a review of some concepts and their use in determining mobility. *Environment and Planning A*, Vol. 6 :675–691, 1974.
- [168] Ville et Transports. Nice Côte d'Azur. Un tram pour réussir la ville. *Ville et Transports magazine*, Vol. 391 :39–49, Janvier 2006.
- [169] M. Wachs and G. Kumagai. Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 7 :437–456, 1973.
- [170] J.G. Wardrop. Some theoretical aspects of road traffic research. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Part II-1 :325–378, 1952.
- [171] W.G. Waters. The value of travel time savings and the link with income : implications for public project evaluation. *International Journal of Transport Economics*, Vol. XXI- No 3 :243–251, 1994.

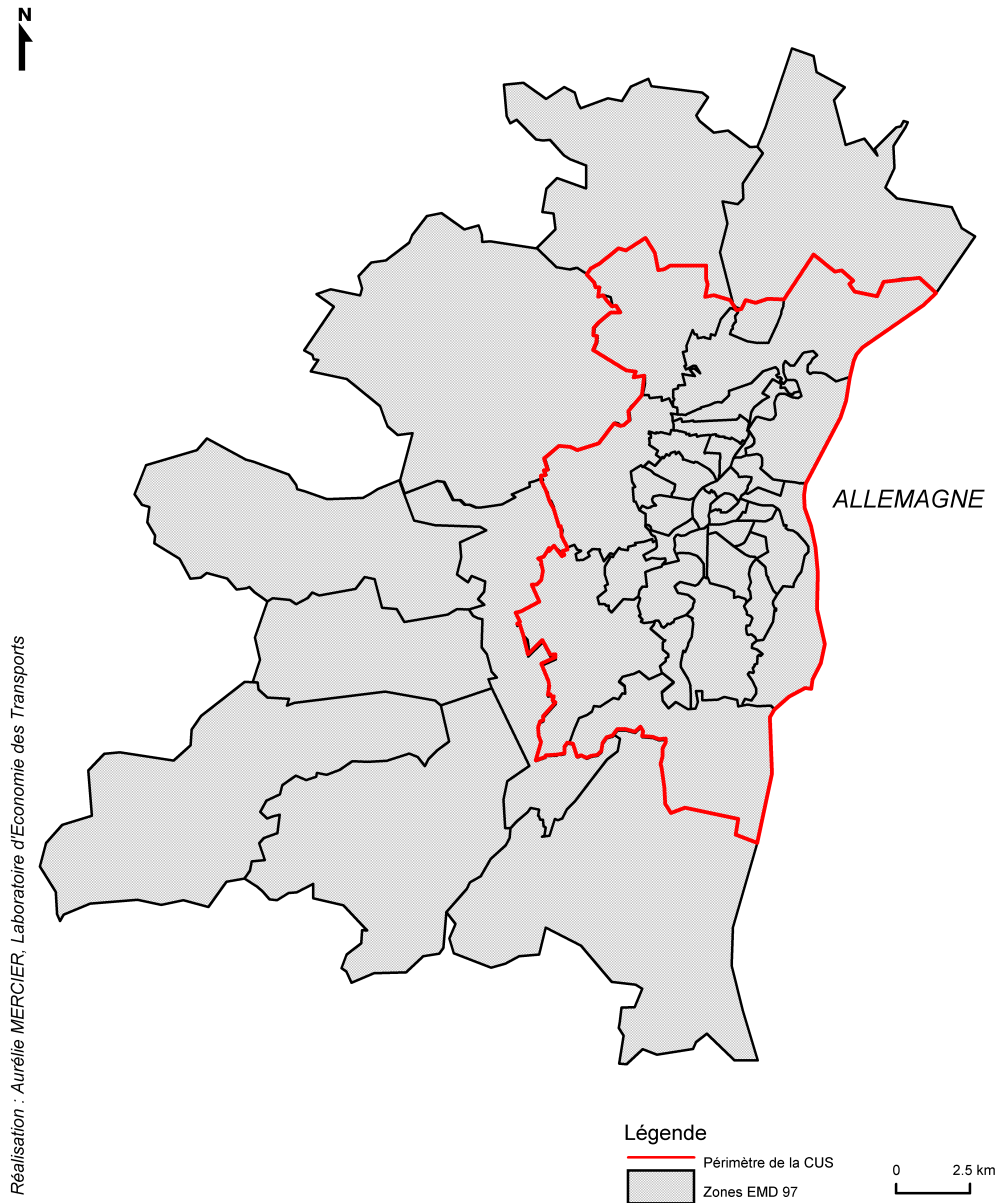
## BIBLIOGRAPHIE

---

- [172] J. Weber and M.P. Kwan. Evaluating the effects of geographic contexts on individual accessibility : a multilevel approach. *Urban Geography*, Vol. 24 :47–671, 2003.
- [173] M-P. Weber, J.and Kwan. Bringing time back in : a study on the influence of travel time variations and facility opening hours on individual accessibility. *The Professional Geographer*, Vol. 54 :226–240, 2002.
- [174] J.W Weibull. An axiomatic approach to the measurement of accessibility. *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 6 :357–379, 1976.
- [175] S. Wenglenski. Une mesure des disparités sociales d'accessibilité au marché de l'emploi en ile-de-france. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, Vol. 4 :539–550, 2004.
- [176] M Wiel. *La transition urbaine ou le passage de la ville-pédestre à la ville-motorisée*. Sprimont, 1999, 149 p.
- [177] M. Wiel. *Ville et automobile*. Les Urbanités. Descartes et Cie, 2002, 140 p.
- [178] A.G. Wilson. *Entropy in urban and regional modelling*. Pion, London, 1970, 166 p.
- [179] A. Wolfelsperger. *Economie publique*. Collection Thémis Economie. P.U.F, Paris, 1995, 490 p.
- [180] G. Wulfhorst, A. L'Hostis, and B. Puccio. Urbanisme et transport dans les régions urbaines. *Recherche Transports Sécurité*, Vol. 94 :11–26, 2007.

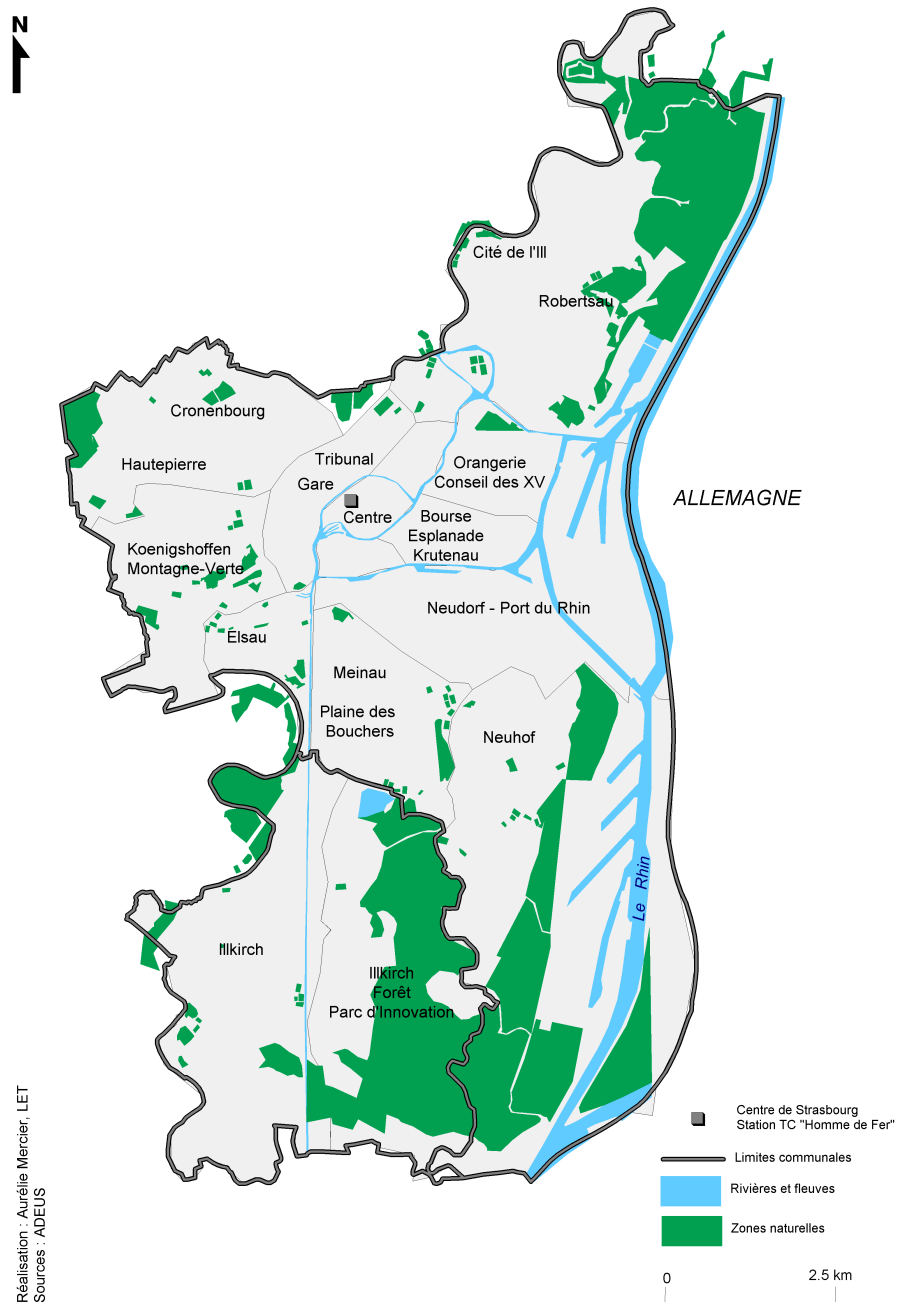
# Annexes

## Annexe 1 : Périmètre de l'Enquête Ménages Déplacements 1997





## Annexe 2 : Les quartiers de Strasbourg



## Annexe 3 : Vitesses sur les tronçons routiers et autoroutiers

Seules les vitesses des tronçons pour lesquels le ratio charge/capacité est supérieur ou égal à 0.3 sont représentées (soit 389 tronçons sur les 11220 tronçons du réseau routier). Ce choix répond à deux critères : le critère de longueur (le tableau avec l'ensemble des tronçons se tient sur 292 pages), le critère de différenciation entre la courbe Smocks et Modstra par rapport aux vitesses à vide. De fait, la vitesse d'un tronçon dont le ratio est inférieur 0.3 est proche de la vitesse à vide et ce, pour chacune des deux alternatives.

TAB. 20: Vitesses sur les tronçons routiers et autoroutiers

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
718	144000	130	0.33	94	130
719	96000	130	0.33	94	130
720	96000	130	0.31	96	130
721	96000	130	0.41	86	130
803	33600	50	0.33	36	50
804	33600	50	0.35	35	50
816	144000	130	0.37	90	130
830	96000	130	0.36	90	130
835	96000	130	0.30	96	130
836	96000	130	0.45	83	130
837	144000	130	0.35	92	130
838	144000	130	0.35	92	130
845	144000	130	0.33	94	130
872	96000	130	0.61	70	88.4
950	96000	130	0.41	86	130
953	144000	130	0.42	85	130
995	144000	130	0.44	84	130
997	96000	130	0.61	70	88.4
1088	33600	50	0.38	34	50
1092	96000	130	0.42	85	130
1099	96000	130	0.42	85	130

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
1102	96000	130	0.33	93	130
1108	96000	130	0.51	78	106.6
1109	96000	130	0.31	95	130
1135	96000	130	0.51	78	106.6
1153	48000	90	0.63	48	61.2
1168	48000	90	0.73	43	50.4
1261	48000	90	0.61	49	61.2
1262	48000	90	0.61	49	61.2
1271	48000	90	0.68	46	61.2
1282	48000	90	0.83	39	34.2
1291	48000	90	0.44	58	90
1295	48000	90	0.33	65	90
1301	48000	90	0.35	63	90
1301	48000	90	0.48	55	90
1302	48000	90	0.36	63	90
1303	48000	90	0.44	58	90
1322	48000	90	0.37	62	90
1322	48000	90	0.31	66	90
1325	48000	90	0.36	63	90
1326	48000	90	0.59	50	73.8
1334	48000	90	0.36	63	90
1337	43200	50	0.38	34	50
1338	43200	50	0.44	32	50
1352	48000	90	0.34	64	90
1353	48000	90	0.34	64	90
1356	48000	90	0.57	51	73.8
1358	48000	90	0.37	62	90
1362	48000	90	0.46	57	90
1364	48000	90	0.56	52	73.8
1365	48000	90	0.73	43	50.4
1366	48000	90	0.64	48	61.2
1366	48000	90	0.45	57	90
1367	48000	90	0.64	48	61.2
1367	48000	90	0.45	57	90

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
1423	19200	50	0.36	35	50
1431	19200	50	0.47	31	50
1448	19200	50	0.42	33	50
1449	19200	50	0.34	36	50
1480	19200	50	0.30	37	50
1482	19200	50	0.53	30	41
1484	19200	50	0.33	36	50
1485	19200	50	0.33	36	50
1492	19200	50	0.37	35	50
1492	19200	50	0.48	31	50
1534	19200	50	0.35	35	50
1537	19200	50	0.55	29	41
1720	19200	50	0.36	35	50
1777	19200	50	0.33	36	50
1778	19200	50	0.33	36	50
1850	19200	50	0.31	37	50
1855	19200	50	0.45	32	50
1855	19200	50	0.37	34	50
1856	19200	50	0.44	32	50
1856	19200	50	0.48	31	50
1857	19200	50	0.32	36	50
1872	19200	50	0.70	25	34
1895	19200	50	1.35	13	10
1931	19200	50	0.39	34	50
1985	19200	50	0.32	36	50
1986	19200	50	0.31	37	50
1988	19200	50	0.38	34	50
2011	19200	50	0.44	32	50
2017	19200	50	0.34	35	50
2019	19200	50	0.39	34	50
2019	19200	50	0.33	36	50
2100	19200	50	0.33	36	50
2112	19200	50	0.31	37	50
2113	19200	50	0.33	36	50

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
2121	19200	50	0.39	34	50
2125	19200	50	0.33	36	50
2135	19200	50	0.38	34	50
2137	19200	50	0.60	27	41
2143	19200	50	0.32	36	50
2153	19200	50	0.43	32	50
2173	19200	50	0.93	20	34
2174	19200	50	0.65	26	34
2184	19200	50	0.51	30	41
2203	19200	50	0.51	30	41
2203	19200	50	0.37	34	50
2205	19200	50	0.51	30	41
2205	19200	50	0.37	34	50
2266	19200	50	0.78	23	28
2269	19200	50	0.34	36	50
2277	19200	50	0.92	20	34
2285	19200	50	0.42	33	50
2285	19200	50	0.34	36	50
2310	19200	50	0.74	24	28
2310	19200	50	0.60	27	34
2324	19200	50	0.34	36	50
2324	19200	50	0.38	34	50
2336	19200	50	0.34	36	50
2357	19200	50	0.42	33	50
2357	19200	50	0.54	29	41
2372	19200	50	0.34	36	50
2551	19200	50	0.56	29	41
2551	19200	50	0.51	30	41
2619	19200	50	0.47	31	50
2619	19200	50	0.72	24	28
2684	19200	50	0.70	25	34
2684	19200	50	1.01	18	10
2687	19200	50	0.34	36	50
2687	19200	50	0.36	35	50

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
2702	19200	50	0.34	36	50
2708	19200	50	0.39	34	50
2708	19200	50	0.82	22	19
2809	19200	50	0.48	31	50
2817	19200	50	0.59	28	41
2823	19200	50	0.43	32	50
2830	19200	50	0.34	36	50
2830	19200	50	0.36	35	50
2873	19200	50	0.31	37	50
2915	19200	50	0.50	30	41
2932	19200	50	0.55	29	41
2987	19200	50	0.36	35	50
2993	19200	50	0.40	33	50
3005	19200	50	0.40	34	50
3103	48000	90	0.38	62	90
3112	48000	90	0.35	63	90
3113	48000	90	0.35	64	90
3130	43200	50	0.61	27	34
3138	48000	90	0.56	51	73.8
3192	48000	90	0.40	61	90
3193	43200	50	0.40	34	50
3194	48000	90	0.35	64	90
3195	48000	90	0.35	63	90
3196	48000	90	0.40	60	90
3257	19200	50	0.53	29	41
3257	19200	50	0.93	20	34
3258	19200	50	0.42	33	50
3258	19200	50	0.81	22	19
3267	19200	50	0.64	26	34
3267	19200	50	0.59	28	41
3398	19200	50	0.43	33	50
3407	19200	50	0.45	32	50
3408	19200	50	0.55	29	41
3409	19200	50	0.30	37	50

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
3457	19200	50	0.41	33	50
3458	19200	50	0.36	35	50
3496	48000	90	0.36	63	90
3497	48000	90	0.36	63	90
3565	48000	90	0.39	61	90
3566	48000	90	0.35	64	90
3566	48000	90	0.46	57	90
3567	48000	90	0.52	53	73.8
3567	48000	90	0.51	54	73.8
3633	19200	50	0.32	36	50
3669	48000	90	0.35	64	90
3678	19200	50	0.38	34	50
3695	19200	50	0.41	33	50
3695	19200	50	0.36	35	50
3706	48000	90	0.31	66	90
3708	48000	90	0.37	62	90
3717	43200	50	0.33	36	50
3718	48000	90	0.54	53	73.8
3719	48000	90	0.41	59	90
3719	48000	90	0.46	57	90
3720	48000	90	0.55	52	73.8
3759	19200	50	0.47	31	50
3760	19200	50	0.46	32	50
3761	19200	50	0.46	32	50
3762	19200	50	0.46	32	50
3771	19200	50	0.42	33	50
3777	19200	50	0.40	34	50
3808	19200	50	0.30	37	50
3809	19200	50	0.30	37	50
3810	19200	50	0.30	37	50
3817	19200	50	0.38	34	50
3819	19200	50	0.53	30	41
3871	19200	50	0.35	35	50
3872	19200	50	0.32	36	50

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
3873	19200	50	0.66	26	34
3875	19200	50	0.36	35	50
3876	19200	50	0.56	29	41
4052	19200	50	0.58	28	41
4056	19200	50	0.58	28	41
4058	19200	50	0.31	37	50
4058	19200	50	0.58	28	41
4065	19200	50	0.58	28	41
4101	19200	50	0.36	35	50
4107	19200	50	0.36	35	50
4114	19200	50	0.36	35	50
4115	19200	50	0.36	35	50
4121	19200	50	0.55	29	41
4122	19200	50	0.55	29	41
4124	19200	50	0.36	35	50
4151	19200	50	0.42	33	50
4187	19200	50	0.34	36	50
4188	19200	50	0.34	36	50
4235	19200	50	0.37	34	50
4250	19200	50	0.55	29	41
4250	19200	50	0.58	28	41
4251	19200	50	0.51	30	41
4251	19200	50	0.48	31	50
4252	19200	50	0.78	23	28
4252	19200	50	0.72	24	28
4260	19200	50	0.83	22	19
4264	19200	50	0.32	36	50
4264	19200	50	0.82	22	19
4271	19200	50	0.30	37	50
4275	19200	50	0.70	25	34
4294	19200	50	1.35	13	10
4302	19200	50	0.42	33	50
4365	19200	50	0.40	33	50
4369	19200	50	0.43	32	50

*Suite page suivante*



ANNEXE 3

---

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
4383	19200	50	0.34	35	50
4385	19200	50	0.34	35	50
4396	19200	50	0.34	35	50
4403	19200	50	0.38	34	50
4404	19200	50	0.37	35	50
4404	19200	50	0.54	29	41
4405	19200	50	0.31	37	50
4406	19200	50	0.43	32	50
4428	19200	50	0.31	37	50
4472	19200	50	0.40	34	50
4489	19200	50	0.40	34	50
4547	19200	50	0.33	36	50
4549	19200	50	0.33	36	50
4570	19200	50	0.31	37	50
4582	19200	50	0.34	36	50
4583	19200	50	0.39	34	50
4585	19200	50	0.34	35	50
4588	19200	50	0.39	34	50
4594	19200	50	0.40	34	50
4597	19200	50	0.39	34	50
4601	19200	50	0.38	34	50
4602	19200	50	0.60	27	34
4603	19200	50	0.60	27	34
4657	19200	50	0.55	29	41
4658	19200	50	0.51	30	41
4661	19200	50	0.67	26	34
4662	19200	50	0.52	30	41
4663	19200	50	0.65	26	34
4676	19200	50	0.32	36	50
4688	19200	50	0.36	35	50
4702	19200	50	0.42	33	50
4703	19200	50	0.51	30	41
4703	19200	50	0.37	34	50
4759	19200	50	0.35	35	50

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
4759	19200	50	0.47	31	50
4790	19200	50	0.92	20	34
4793	19200	50	0.78	23	28
4794	19200	50	0.46	31	50
4803	19200	50	0.34	36	50
4804	19200	50	0.46	31	50
4806	19200	50	0.51	30	41
4808	19200	50	1.58	10	10
4808	19200	50	0.37	34	50
4809	19200	50	1.19	15	10
4813	19200	50	1.48	11	10
4813	19200	50	0.38	34	50
4818	19200	50	0.42	33	50
4818	19200	50	0.34	36	50
4836	19200	50	0.45	32	50
4836	19200	50	0.33	36	50
4859	19200	50	0.31	37	50
4860	19200	50	0.32	36	50
4860	19200	50	0.34	36	50
4861	19200	50	0.32	36	50
4861	19200	50	0.34	36	50
4862	19200	50	0.74	24	28
4862	19200	50	0.60	27	34
4864	19200	50	0.77	23	28
4864	19200	50	0.65	26	34
4870	19200	50	0.32	36	50
4870	19200	50	0.34	36	50
4892	19200	50	0.34	35	50
4893	19200	50	0.34	35	50
4894	19200	50	0.34	35	50
4897	19200	50	0.34	35	50
4898	19200	50	0.34	35	50
4909	19200	50	0.32	36	50
4909	19200	50	0.50	30	50

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
4932	19200	50	0.42	33	50
4932	19200	50	0.54	29	41
4944	19200	50	0.34	36	50
4987	48000	90	0.34	64	90
4991	48000	90	0.44	58	90
5017	19200	50	0.50	30	41
5018	19200	50	0.50	30	41
5020	19200	50	0.49	30	50
5021	19200	50	0.49	30	50
5130	19200	50	0.73	24	28
5130	19200	50	0.82	22	19
5139	19200	50	0.31	37	50
5204	19200	50	0.54	29	41
5204	19200	50	0.97	19	34
5207	19200	50	0.47	31	50
5207	19200	50	0.51	30	41
5208	19200	50	0.89	20	19
5208	19200	50	1.32	13	10
5213	19200	50	0.44	32	50
5213	19200	50	0.65	26	34
5222	19200	50	0.34	36	50
5225	19200	50	0.32	36	50
5227	19200	50	0.42	33	50
5230	19200	50	0.30	37	50
5231	19200	50	0.48	31	50
5234	19200	50	0.34	35	50
5316	19200	50	0.57	28	41
5317	19200	50	0.63	27	34
5320	19200	50	0.43	32	50
5322	19200	50	0.43	32	50
5328	19200	50	0.36	35	50
5328	19200	50	0.34	36	50
5369	19200	50	0.35	35	50
5371	19200	50	0.35	35	50

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
5380	19200	50	0.41	33	50
5384	19200	50	0.31	37	50
5474	19200	50	0.34	36	50
5495	19200	50	0.47	31	50
5538	19200	50	0.36	35	50
5572	19200	50	0.36	35	50
5574	19200	50	0.55	29	41
5648	19200	50	0.43	33	50
5675	19200	50	0.31	37	50
5718	19200	50	0.32	36	50
5735	19200	50	0.34	36	50
5741	19200	50	0.35	35	50
5742	19200	50	0.48	31	50
5782	19200	50	0.32	36	50
5783	19200	50	0.57	28	41
5789	19200	50	0.36	35	50
5801	19200	50	0.31	37	50
5801	19200	50	0.34	36	50
5849	48000	90	0.35	63	90
5852	48000	90	0.66	46	61.2
5857	48000	90	0.31	66	90
5860	48000	90	0.36	63	90
5861	48000	90	0.31	66	90
5865	48000	90	0.61	49	61.2
5865	48000	90	0.43	58	90
5871	19200	50	0.32	36	50
5873	19200	50	0.60	28	41
5881	19200	50	0.30	37	50
5900	19200	50	0.47	31	50
5900	19200	50	0.34	36	50
5909	19200	50	0.31	37	50
5974	48000	90	0.87	38	34.2
5982	19200	50	0.71	25	28
6006	48000	90	0.35	64	90

*Suite page suivante*

ANNEXE 3

---

Tronçon	Capacité en veh.	Vitesse vide en km/h	Charge/Cap	V SMOCKS en km/h	V MODSTRA en km/h
6007	48000	90	0.35	64	90
6009	48000	90	0.87	38	34.2
6016	48000	90	0.31	66	90
6019	48000	90	0.58	50	73.8
6022	48000	90	0.34	64	90
6040	48000	90	0.38	61	90
6068	48000	90	0.35	63	90
6143	48000	90	0.30	67	90
6203	48000	90	0.32	65	90
6206	48000	90	0.45	57	90
6210	48000	90	0.35	64	90
6211	48000	90	0.35	64	90
6212	48000	90	0.42	59	90
6212	48000	90	0.36	63	90
6213	48000	90	0.34	64	90
6218	48000	90	0.31	66	90
6219	48000	90	0.45	57	90
6235	48000	90	0.40	60	90
6238	48000	90	0.34	64	90
6239	48000	90	0.60	49	61.2
6239	48000	90	0.41	60	90
6240	48000	90	0.43	59	90
6240	48000	90	0.36	63	90
6243	19200	50	0.34	36	50
6244	19200	50	0.34	36	50
6247	48000	90	0.48	56	90
6248	48000	90	0.31	66	90
6248	48000	90	0.57	51	73.8

## Annexe 4 :Attributs des lignes de bus en 1993

TAB. 21: Attributs des lignes de bus en 1993

Lignes	Heure de pointe	
	Fréquence (en minutes)	Vitesse (par km/h)
Ligne 1	5	12
Ligne 11	12	13
Ligne 31	4	13
Ligne 2	9	13
Ligne 12	10	14
Ligne 32	5	13
Ligne 3	8	16
Ligne 13	15	17
Ligne 23	6	14
Ligne 4	10	13
Ligne 14	11	12
Ligne24	11	13
Ligne 6	7	15
Ligne 26	14	16
Ligne 36	12	15
Ligne 46	24	14
Ligne 56	24	14
Ligne 66	24	21
Ligne 7	7	14
Ligne 9	13	16
Ligne 19	21	15
Ligne 29	18	15
Ligne 10	6	12
Ligne 15	6	15
Ligne 20	5	14
Ligne 30	8	14
Ligne 38	6	16
Ligne 50	18	15

## Annexe 5 : Attributs des lignes de bus et de tramway en 2005

### Attributs des lignes de bus

TAB. 22: Attributs des lignes de bus et de tramway en 2005

Lignes	Heure de pointe	
	Fréquence (en minutes)	Vitesse (par km/h)
2	5	13
2a	5	13
4	10	13
4a	10	12
6	21	15
6a	18	15
6b	14	17.5
7	7	16
10	6	12.5
11	4	12.5
11a	4	13.5
12	30	19
13	10	19
14	11	12
15	6	15.5
15a	21	15
17	6	17.5
19	4	15
21	12	13
24	11	13.5
30	8	14
40	14	16
50	18	15
50a	24	15
62	45	13

*Suite page suivante*

Lignes	Heure de pointe	
	Fréquence (en minutes)	Vitesse (par km/h)
63	16	22
65	7	19.5
66	24	21.5
70	15	16.5
71	30	25.5
71a	10	28
72	10	24.5
72a	10	18.5

### Attributs des lignes de tramway

<b>Ligne</b>	Heure de pointe	
	Fréquence (en minutes)	Vitesse (en km/h)
Tram A	4	19.5
Tram B	5	18
Tram C	5	14.5
Tram D	13	18.5



## Annexe 6 : Glossaire

2 roues : Deux roues

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ADEUS : Agence de Développement et d'Urbanisme de l'agglomération  
Strasbourgeoise

ANR : Agence Nationale de la Recherche

BTT : Budget Temps de Transport

CTS : Compagnie des Transports Strasbourgeois

CUS : Communauté Urbaine de Strasbourg

CERTU : Centre d'études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et  
les constructions publiques

DDE : Direction Départementale de l'Équipement

DRE : Direction Régionale de l'Équipement

EMD : Enquête Ménages Déplacements

GPS : Global Positioning System

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

MAP : Marche à pied

MOSART : MOdélisation et Simulation de l'Accessibilité aux Réseaux et  
aux Territoires

PDU : Plan de Déplacements Urbains

PLU : Plan Local d'Urbanisme

RATP : Régie Autonome des Transports Parisiens

## *ANNEXE 6*

---

RGP : Recensement Général de la Population

SIRAC : Système Informatique de Régulation Automatique de la Circulation

SIG : Système d'Information Géographique

SIRENE : Système Informatique pour le Répertoire des ENTreprises et de leurs Établissements

STIF : Syndicat des Transports d'Ile de France

TC : Transports en commun

VP : Voiture Particulière

VAL : Véhicule Automatique Léger

# Table des figures

1	Périmètre d'étude . . . . .	53
2	Répartition spatiale des emplois, répartition et évolution de la population . . . . .	55
3	Réseau routier et autoroutier en 2000 . . . . .	60
4	Décomposition de la couche thématique « territoire » . . . . .	90
5	Méthode de distribution du nombre d'emplois par micro-zone . . . . .	92
6	Exemple de corrections effectuées sur le réseau routier . . . . .	94
7	Représentation de la couche thématique « réseau routier » . . . . .	96
8	Exemples de graphes . . . . .	97
9	Impact des fonctions d'impédance sur la distribution des déplacements . . . . .	106
10	Courbe débit-vitesse utilisée dans le modèle stratégique - Raux <i>et al.</i> 1997 . . . . .	118
11	Illustration de la méthode de reconstitution de la donne . . . . .	123
12	Représentation des couches thématiques des réseaux de transports en commun en 1993 et en 2005 . . . . .	126
13	Décomposition d'un déplacement en voiture particulière et en transports en commun . . . . .	132
14	Fonction du temps moyen de recherche d'une place de stationnement . . . . .	141
15	Cartographie du coût de stationnement sur voirie . . . . .	153
16	Sensibilité de la valeur du temps et du tarif sur le coût généralisé	163
17	Evolution de l'accessibilité en transports en commun . . . . .	179
18	Evolution de l'accessibilité en transports en commun avec des coûts constants . . . . .	186
19	Evolution de la concurrence modale entre 1993 et 2005 . . . . .	189
20	Périmètre du centre-ville . . . . .	192
21	Evolution du différentiel d'accessibilité au centre-ville . . . . .	194

TABLE DES FIGURES

---

22	Evolution conjointe de l'accessibilité au centre-ville et de la population . . . . .	197
23	Evolution de l'accessibilité en centre-ville au regard de la localisation de la population en 1990 . . . . .	199
24	Evolution de l'accessibilité en transports en commun, au centre ville, et de ses composantes . . . . .	201
25	Impact de la valeur standard du paramètre <i>beta</i> sur la représentation du différentiel entre accessibilité standard et accessibilité différenciée . . . . .	214
26	Comparaison entre évolution de l'accessibilité et différentiel d'accessibilité standard et différencié . . . . .	217
27	Accessibilité différenciée et accessibilité standard, en transports en commun au centre-ville, en 2005 . . . . .	218
28	Deux alternatives pour homogénéiser les niveaux d'accessibilité standard et différenciée . . . . .	219
29	Localisation des actifs . . . . .	225
30	Localisation des emplois . . . . .	226
31	Différentiel d'accessibilité aux emplois en fonction des modes de transport et des secteurs d'activité . . . . .	228
32	Différentiel d'accessibilité aux emplois en fonction des modes de transport et des secteurs d'activité pondéré par la population active . . . . .	230
33	Variation du surplus des automobilistes suite à la mise en place du péage urbain . . . . .	238
34	Variantes pour réduire le différentiel d'accessibilité entre voiture particulière et transports en commun . . . . .	241

# Liste des tableaux

1	Répartition des déplacements, réalisés entre deux zones desservies par le tramway, selon les modes . . . . .	74
2	Répartition des déplacements intra-zone (dans une zone desservie par le tramway) selon les modes . . . . .	74
3	Répartition des déplacements inter-zones (entre deux zones desservies par le tramway) selon les modes . . . . .	75
4	Nomenclature du réseau routier . . . . .	95
5	Résultats des régressions linéaires . . . . .	103
6	Résultats issus du calage . . . . .	108
7	Résultats issus de la répartition modale . . . . .	111
8	Une classification des modèles d'affectation . . . . .	112
9	Comparaison des trafics modélisés et des trafics réels . . . . .	116
10	Reconstitution de l'offre en 1993 : exemple de la ligne n° 2 . . . . .	124
11	Taux de rotation des véhicules en fonction du type de stationnement à Lausanne . . . . .	143
12	Postes de dépense d'un automobiliste . . . . .	152
13	Tarifcation des titres de transports accessibles aux actifs . . . . .	155
14	Estimation des valeurs du paramètre Beta par motifs . . . . .	157
15	Résultats des tests des paramètres de confort (Base 100 : situation de référence) . . . . .	161
16	Impact du paramètre Beta sur le niveau d'accessibilité . . . . .	165
17	Valeurs du paramètre Beta dans les travaux de Johansson <i>et al.</i> . . . . .	209
18	Correspondance entre niveau d'éducation et dernier diplôme obtenu . . . . .	211
19	Valeurs du paramètre beta sous différentes hypothèses . . . . .	212
20	Vitesses sur les tronçons routiers et autoroutiers . . . . .	275
21	Attributs des lignes de bus en 1993 . . . . .	287
22	Attributs des lignes de bus et de tramway en 2005 . . . . .	288

# Table des matières

<b>Avant Propos</b>	<b>i</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
I  Quel(s) outil(s) pour évaluer les politiques de transport en milieu urbain ? . . . . .	3
II Des politiques de transport paradoxales ? . . . . .	5
III D'une dimension temporelle à une dimension spatio-temporelle	7
IV Problématique et démarche de travail . . . . .	7
IV.1 Problématique . . . . .	7
IV.2 Plan de la thèse . . . . .	8
<b>I Mise en œuvre de mesures d'accessibilité : fondements analytiques, théoriques et empiriques</b>	<b>10</b>
<b>Introduction de la partie I</b>	<b>11</b>
<b>Chapitre 1 : Les différentes approches de l'accessibilité. Revue de la littérature et fondements théoriques.</b>	<b>13</b>
I  Introduction . . . . .	13
II Une approche agrégée de l'accessibilité . . . . .	15
II.1 L'accessibilité comme simple indicateur de la distance .	16
II.2 Les mesures isochrones . . . . .	17
II.3 Les mesures gravitaires . . . . .	18
II.3.1 Rappel sur les modèles gravitaires . . . . .	18
II.3.2 Les mesures gravitaires de l'accessibilité : présentation générale . . . . .	20
II.3.3 Le choix de la fonction de résistance . . . . .	21

TABLE DES MATIERES

---

	II.3.4	Les limites de la formule . . . . .	23
III		Une approche désagrégée de l'accessibilité . . . . .	25
	III.1	Les mesures issues de la <i>time-geography</i> : une approche à partir des contraintes . . . . .	25
	III.1.1	Développements successifs : des prismes spatio- temporels à la « geocomputation » . . . . .	26
	III.1.2	Les limites de ces mesures . . . . .	28
	III.2	Les mesures basées sur l'utilité . . . . .	29
	III.2.1	Présentation générale . . . . .	29
	III.2.2	Atouts et limites de la mesure . . . . .	31
	III.2.3	La théorie économique de l'accessibilité ur- baine comme exemple de modèle de choix dis- cret . . . . .	31
	III.3	L'approche composite de Miller . . . . .	33
	III.3.1	Présentation générale . . . . .	33
	III.3.2	Atouts et limites . . . . .	35
IV		Fondements théoriques . . . . .	36
	IV.1	Indicateur d'accessibilité gravitaire et respect des axiomes de Weibull . . . . .	37
	IV.2	Indicateur d'accessibilité gravitaire et calcul économique	39
	IV.2.1	La théorie du surplus . . . . .	39
	IV.2.2	Accessibilité gravitaire et surplus du consom- mateur . . . . .	43
V		Conclusion du chapitre 1 . . . . .	48

**Chapitre 2 : Strasbourg ou l'exemple d'une politique pionnière  
en matière d'accessibilité urbaine 49**

I		Introduction . . . . .	49
II		Eléments de cadrage . . . . .	50
	II.1	Périmètre d'étude et découpage spatial . . . . .	50
	II.2	Un périmètre d'étude marqué par la prégnance de ses quartiers centraux . . . . .	54
	II.2.1	Localisation comparée des actifs et des emplois	54
	II.2.2	Une évolution de la population qui tend à spécialiser les quartiers . . . . .	56
III		Une politique de transport à deux vitesses . . . . .	58
	III.1	Des axes d'accès rapides initiés dès les années 50 . . . . .	59

TABLE DES MATIERES

---

III.2	Vers une amélioration de l'accessibilité en transports en commun . . . . .	60
III.3	Les transports en commun et les modes doux au cœur de la ville des années 90 . . . . .	61
III.3.1	Une réorganisation du réseau de transports en commun . . . . .	61
III.3.2	Des automobiles boutées hors du centre-ville .	63
III.3.3	Une réelle intégration des modes doux dans la politique de transport . . . . .	65
III.4	La politique de transports d'aujourd'hui et . . . de demain	65
III.4.1	Des objectifs sous contraintes . . . . .	66
III.4.2	La nouvelle dimension du réseau de transports en commun . . . . .	66
III.4.3	Les principes appliqués à la création de voirie future . . . . .	67
IV	Les pratiques de mobilité des Strasbourgeois . . . . .	67
IV.1	Des pratiques de déplacements atypiques . . . . .	68
IV.1.1	Les pratiques modales . . . . .	69
IV.1.2	Des déplacements orientés vers les loisirs . . .	69
IV.1.3	Des durées de déplacement stables mais des budgets temps de transport croissants . . . .	70
IV.2	Usages et usagers du tramway . . . . .	71
IV.2.1	Photographie des usagers du tramway . . . .	71
IV.2.2	Une utilisation du tramway recentrée sur certains motifs . . . . .	72
IV.2.3	Des déplacements en tramway plus longs que la moyenne . . . . .	73
IV.2.4	Le tramway : un mode qui cherche encore sa place en 1997 . . . . .	73
V	Conclusion du chapitre 2 . . . . .	77
<b>Conclusion de la partie I</b>		<b>79</b>
<b>II Le SIG : un outil au service de l'accessibilité</b>		<b>81</b>
<b>Introduction de la partie II</b>		<b>82</b>



<b>Chapitre 3 : Construction d'un SIG dédié aux transports. Considérations méthodologiques et modélisation des réseaux de transport.</b>	<b>85</b>
I Introduction . . . . .	85
II Architecture et fonctionnalités du SIG . . . . .	86
II.1 Une architecture à trois niveaux . . . . .	86
II.1.1 Les fonctionnalités du SIG . . . . .	87
III Intégration des données spatiales . . . . .	89
IV Localisation des opportunités . . . . .	90
V Modélisation du réseau routier . . . . .	92
V.1 Méthode d'acquisition des attributs techniques du réseau	93
V.2 Intégration du niveau de congestion par le biais d'un modèle à quatre étapes . . . . .	98
V.2.1 La génération des déplacements . . . . .	99
V.2.2 La distribution des déplacements . . . . .	102
V.2.3 La répartition modale . . . . .	108
V.2.4 L'affectation sur les différents tronçons . . . . .	111
V.2.5 L'exploitation des résultats du modèle : de l'affectation à la détermination des vitesses . . . . .	114
VI Modélisation de l'offre de transports en commun . . . . .	119
VI.1 L'intégration des vitesses et des fréquences . . . . .	119
VI.1.1 Le choix de l'heure de pointe . . . . .	119
VI.1.2 Reconstitution de l'offre de transport en commun en 2005 . . . . .	120
VI.1.3 L'offre de transport en commun en 1993 : le problème de la reconstitution de la donnée . . . . .	122
VII Conclusion du chapitre 3 . . . . .	127
<b>Chapitre 4 : De l'offre de transport à la détermination de l'accessibilité</b>	<b>129</b>
I Introduction . . . . .	129
II Des temps de déplacement au coût temporel . . . . .	131
II.1 La valeur du temps . . . . .	132
II.1.1 Rappels théoriques . . . . .	133
II.1.2 La valeur du temps en pratique . . . . .	135
II.2 Le temps de déplacement en voiture particulière . . . . .	138
II.2.1 Le temps de transport « en véhicule » . . . . .	138

TABLE DES MATIERES

---

	II.2.2	La question de l'accès au réseau et des trajets terminaux . . . . .	138
	II.2.3	L'évaluation du temps de recherche d'une place de stationnement . . . . .	139
II.3		Le temps de déplacement en transports en commun . .	143
	II.3.1	Principe de détermination du temps de déplacement . . . . .	143
	II.3.2	Les composantes temporelles d'un déplacement en transports en commun . . . . .	144
	II.3.3	Quelle prise en compte des éléments de confort ?	147
III		De la distance de déplacement au coût monétaire . . . . .	151
	III.1	Le coût monétaire d'un déplacement automobile . . . .	151
	III.1.1	Les éléments liés à la possession et l'utilisation d'une automobile . . . . .	151
	III.1.2	Les coûts de stationnement . . . . .	153
	III.2	Le coût monétaire d'un déplacement en transport en commun . . . . .	154
IV		L'évaluation de la sensibilité des individus au coût généralisé .	156
	IV.1	La détermination du paramètre <i>beta</i> . . . . .	156
	IV.2	L'impact des caractéristiques socioéconomiques et des dimensions spatio-temporelles sur le paramètre de sensibilité . . . . .	157
V		La sensibilité des résultats aux paramètres d'entrée . . . . .	159
	V.1	Pourquoi et comment réaliser des tests de sensibilité ? .	159
	V.2	Présentation des tests et résultats . . . . .	160
	V.2.1	Test des paramètres de pénibilité appliqués pour les déplacements en transports en commun	160
	V.2.2	Test sur la valeur du temps et le niveau de tarifs . . . . .	162
	V.2.3	Impact du paramètre Beta sur le niveau d'accessibilité . . . . .	164
VI		Conclusion du chapitre 4 . . . . .	165
<b>Conclusion de la partie II</b>			<b>168</b>

<b>III</b>	<b>De la mesure de l'accessibilité à l'évaluation des politiques de transport</b>	<b>170</b>
	<b>Introduction de la partie III</b>	<b>171</b>
	<b>Chapitre 5 : Eléments pour une évaluation <i>a posteriori</i> de la politique de transport au travers du prisme de l'accessibilité</b>	<b>173</b>
I	Introduction . . . . .	173
II	Considérations méthodologiques et lecture des résultats cartographiques . . . . .	175
II.1	Comment lire les cartes d'accessibilité ? . . . . .	175
II.2	Hypothèse sur la période considérée . . . . .	176
III	Une évaluation sous l'angle de la concurrence modale . . . . .	176
III.1	Une amélioration de l'accessibilité aux emplois en transports en commun . . . . .	177
III.1.1	Une variation de surplus positive . . . . .	177
III.1.2	Une représentation de l'accessibilité en doigts de gants . . . . .	179
III.1.3	Une évolution de l'accessibilité soumise à la variation de ses différentes composantes . . . . .	180
III.2	L'automobile comme mode le plus performant . . . . .	186
III.2.1	Hypothèse sur la discrétisation des classes . . . . .	187
III.2.2	La performance de l'automobile . . . . .	187
III.2.3	Une évolution favorable aux transports en commun . . . . .	188
IV	Une évaluation de la politique de transport à l'échelle spatiale . . . . .	191
IV.1	Le tramway comme outil de gestion urbaine . . . . .	192
IV.1.1	Les transports en commun pour renforcer la centralité . . . . .	192
IV.1.2	Tramway et développement des quartiers . . . . .	194
IV.2	Le tramway comme vecteur de réduction des inégalités territoriales ? . . . . .	197
IV.2.1	Gommer l'inadéquation entre niveau d'accessibilité et densité de population . . . . .	198
IV.2.2	Une politique de transports favorable aux quartiers excentrés ? . . . . .	199
IV.2.3	Des disparités qui subsistent . . . . .	201
V	Conclusion du chapitre 5 . . . . .	203

<b>Chapitre 6 : Simulations autour des mesures d'accessibilité pour</b>		
<b>une meilleure définition des politiques de transport</b>		<b>206</b>
I	Introduction . . . . .	206
II	Sensibilité au coût généralisé et perception du niveau d'accessibilité . . . . .	207
II.1	Considérations méthodologiques . . . . .	208
II.1.1	Un double questionnement . . . . .	210
II.1.2	Répartition de la population active par sexe et niveau d'étude . . . . .	211
II.1.3	Estimation du paramètre <i>beta</i> . . . . .	211
II.2	Perception de l'accessibilité et politique de transport . . . . .	214
II.2.1	Différentes perceptions de l'accessibilité selon la typologie des quartiers . . . . .	214
II.2.2	Un nouveau paramètre pour évaluer la politique de transport . . . . .	215
II.3	Quel(s) scénario(s) pour homogénéiser les niveaux d'accessibilité ? . . . . .	218
III	Accessibilité aux différents types d'emplois . . . . .	222
III.1	Considérations méthodologiques . . . . .	223
III.2	Localisation comparée des actifs et des emplois . . . . .	224
III.3	Un accès aux emplois conditionné par l'usage de la voiture particulière . . . . .	226
III.4	Une prise en compte de la demande pour orienter les choix politiques . . . . .	228
IV	Trois variantes pour une réduction du différentiel d'accessibilité entre les modes . . . . .	231
IV.1	La taxation des automobilistes . . . . .	232
IV.1.1	Considérations méthodologiques . . . . .	232
IV.1.2	L'instauration d'une taxe kilométrique . . . . .	233
IV.1.3	Le péage urbain : une autre forme de taxation . . . . .	234
IV.2	La limitation des vitesses automobiles . . . . .	242
IV.2.1	Considérations méthodologiques . . . . .	242
IV.2.2	Un scénario aux effets limités . . . . .	242
IV.2.3	Quelle baisse de vitesse pour obtenir un différentiel nul ? . . . . .	243
IV.3	Amélioration des fréquences des bus . . . . .	243
IV.3.1	Hypothèses de travail . . . . .	243

## TABLE DES MATIERES

---

IV.3.2	Des résultats plus favorables aux transports en commun . . . . .	243
V	Conclusion du chapitre 6 . . . . .	244
<b>Conclusion de la partie III</b>		<b>247</b>
<b>Conclusion générale</b>		<b>249</b>
I	La démarche de travail . . . . .	250
II	Les principaux résultats et apports . . . . .	251
III	Les perspectives de travail . . . . .	254
<b>Bibliographie</b>		<b>258</b>
<b>Annexes</b>		<b>272</b>
	Annexe 1 : Périmètre de l'Enquête Ménages Déplacements 1997 . .	273
	Annexe 2 : Les quartiers de Strasbourg . . . . .	274
	Annexe 3 : Vitesses sur les tronçons routiers et autoroutiers . . . .	275
	Annexe 4 : Attributs des lignes de bus en 1993 . . . . .	287
	Annexe 5 : Attributs des lignes de bus et de tramway en 2005 . . .	288
	Annexe 6 : Glossaire . . . . .	290
<b>Table des figures</b>		<b>292</b>
<b>Liste des tableaux</b>		<b>294</b>
<b>Table des matières</b>		<b>295</b>

# Résumé

Depuis les années 1990, on assiste à un retour à la lenteur dans les centres-villes où la tendance n'est plus la construction de voies routières rapides mais la mise en service de transports en commun en site propre de surface. Dans ce contexte, nous mobilisons le concept d'accessibilité gravitaire pour comprendre cette évolution récente.

Sur un plan théorique, la thèse vise ainsi à démontrer la cohérence de ce type d'indicateur avec le calcul traditionnel de surplus pour l'intégrer dans une analyse coûts-avantages en complément des gains de temps, habituellement utilisés. Sur un plan empirique, la thèse permet d'évaluer, sur l'aire d'étude de Strasbourg, l'impact de la mise en place d'une politique de transport favorable aux transports en commun sur le niveau d'accessibilité des automobilistes et usagers des transports en commun. Elle repose ainsi sur une modélisation associant un SIG et un modèle à quatre étapes.

Outre une méthodologie standard pouvant être appliquée à d'autres agglomérations, la thèse fournit des résultats intéressants tant en termes d'évaluation de politiques urbaine et de transport que de prospective. La voiture particulière reste, malgré l'amélioration du réseau de transports en commun, le mode le plus performant à l'échelle du territoire. Les transports en commun sont, quant à eux plus performants pour accéder au centre-ville même si les ambitions de réduction des inégalités territoriales ne sont que partiellement atteintes. Des scénarii prospectifs mis en place pour réduire le différentiel d'accessibilité entre ces deux modes (introduction d'un péage urbain ou d'une taxe automobile, limitation des vitesses sur voies rapides et amélioration des fréquences des bus et tramways), l'amélioration des temps de parcours en transports en commun présente les meilleurs résultats.

MOTS CLES : Accessibilité gravitaire, SIG, Strasbourg, évaluation économique, politiques de transport, politiques urbaines

# Summary

Since the nineties, town centers have been characterized by a decreasing of speed transport with the implementation of public transport infrastructures. Considering this context, the concept of gravity-based accessibility is used to understand this recent phenomenon.

In a theoretical part, this research aims at demonstrating that gravity-based accessibility measures are consistent with the surplus theory. In an empirical part, this research assesses the impact of a new transport policy (with a tram network implementation) on job-access level for car and public transport users. Computations are made on Strasbourg area and are based on a modeling method with a GIS and a four-step model.

Two types of results are underlined. First, the thesis permits to apply gravity-based indicators for the two modes considering a fine zonal grid and a congestion charge. Secondly, it tests two of the various mode alternatives proposed to workers living in Strasbourg. In spite of an improvement of the public transport network, car is the best mode to access to the whole area. Nevertheless job-access is higher by public transport than by car to access the town center. Territorial inequalities remain important for public transport users. Prospective scenarii are implemented (urban toll, car-tax, speed limitation on highways and motorways, improvement of public transport speed) to reduce the job-access differential between the two modes. The decreasing of travel time in public transport offers the best results.

KEY WORDS : gravity accessibility measures, GIS, Strasbourg, economic assessment, transport policies, urban policies.