

CHAPITRE 1

EVALUATION D'UNE INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT EN MILIEU URBAIN

Les méthodes d'évaluation des infrastructures de transports sont traditionnellement appréhendées par l'analyse coûts-avantages, fondée sur la théorie de la maximisation du surplus collectif et par là même sur la valeur du temps. Or, cette évaluation socio-économique, qui s'applique principalement aux grands projets d'infrastructures interurbaines, présente des limites lorsqu'il s'agit d'évaluer les équipements de transport en milieu urbain. D'une part, le taux de croissance de la mobilité urbaine dépend davantage de la multiplicité des choix offerts par la mise en service d'une infrastructure que des gains de temps procurés par cette dernière. Le temps de transport, composante du coût généralisé de transport, est, en effet, considéré comme une constante en milieu urbain (conjecture de Zahavi). D'autre part, le calcul économique ne permet pas de prendre en compte les interactions complexes entre système de transport et développement urbain. La plupart des études analysent l'impact de la forme urbaine sur le comportement des transports. En revanche, l'effet rétroactif de ces impacts est étudié dans une moindre mesure en raison, notamment, de la lenteur du processus de changement d'occupation des sols par rapport aux comportements de déplacements

Ce chapitre a pour objet de montrer la pertinence de l'analyse des bénéfices engendrés par la mise en service d'une infrastructure de transport par la méthode de la capitalisation immobilière des gains d'accessibilité.

Dans une première section, nous présenterons le concept de l'analyse coûts-avantages et ses limites en milieu urbain. Sur la base des développements de la conjecture de Zahavi, nous insisterons sur l'inadéquation d'une analyse fondée sur les gains de temps -valorisés dans l'analyse coûts-avantages par les valeurs du temps- en milieu urbain. Le concept d'accessibilité permet d'appréhender de manière plus cohérente l'impact d'une infrastructure en milieu urbain.

La notion d'accessibilité renvoie toutefois indissociablement aux changements intervenant dans les systèmes de transport et les modes d'occupation de l'espace. L'élucidation des interactions entre transport et urbanisation apparaît par conséquent indispensable à l'analyse de l'impact d'une nouvelle infrastructure intra-urbaine. Dans une seconde section, nous présenterons la démarche générale des modèles d'interactions entre transport et urbanisation (*LUTI*)^f

Les modèles *LUTI* fournissent les moyens d'analyser l'influence de l'extension du système de transport sur les localisations et par conséquent sur la régulation des valeurs

^f Land use and Transport interaction.

foncières démontrant ainsi que la valeur des aménités et des biens publics est capitalisée dans le prix des biens immobiliers et fonciers.

Nous justifierons l'intérêt du recours à la méthode de la capitalisation immobilière pour l'analyse des effets complexes d'une amélioration de l'accessibilité engendrée par une modification du réseau des transports, tout en soulignant la nécessité d'approfondir l'analyse des phénomènes de capitalisation des gains d'accessibilité en milieu urbain.

1. Les limites de l'application de l'analyse coûts-avantages aux infrastructures de transport intra-urbaines

L'analyse des bénéfices engendrés par une infrastructure de transport est traditionnellement appréhendée par la méthode coûts-avantages qui a pour objet de déterminer le surplus collectif dégagé pour la collectivité. Cependant cette approche présente des limites dans la mesure où elle ne prend pas en considération les effets externes des projets de transport tels que les effets structurants sur l'espace (section 1). Avec la diffusion de l'automobile et l'amélioration des vitesses, la configuration spatiale de la ville s'est, en effet, considérablement modifiée, ouvrant la voie à un processus d'étalement urbain complexe et difficile à réguler. Nous montrerons que cette interaction entre système de transport et formes urbaines ne peut être correctement appréhendée à travers d'hypothétiques gains de temps. Le concept d'accessibilité, en ce qu'il permet d'appréhender le réinvestissement des économies de temps de transport en allongeant les distances parcourues, apparaît plus approprié à l'évaluation de l'impact des infrastructures de transport en milieu urbain (section 2).

1.1. Les fondements de l'analyse traditionnelle de la valorisation d'une infrastructure de transport: l'approche coûts-avantages

La mise en place d'une infrastructure de transport a pour principal intérêt d'engendrer des gains de temps au bénéfice des usagers. Ces gains de temps sont une des motivations majeures des investissements de transport, et leur valorisation représente un enjeu fondamental du calcul de la rentabilité de ces investissements (Boiteux, 2001). La notion de valeur du temps se présente alors comme un paramètre clef des évaluations coûts-avantages appliquées aux projets d'infrastructures de transport.

1.1.1 La valeur du temps

L'usager, dans l'optimisation de son comportement est soumis non seulement à une contrainte de revenu mais également à une contrainte de temps. D'après la théorie de l'allocation des ressources temporelles de Becker (1965), l'individu fait un arbitrage entre sa consommation et son activité en fonction du temps disponible. Il en résulte à l'optimum une valeur du temps, l'agent égalisant les taux marginaux entre ressources temporelles et matérielles utilisées pour chaque activité.

Ce modèle de base, trop restrictif, a été enrichi, par la suite, afin de mieux tenir compte de la dépendance de l'utilité du consommateur aux biens qu'il consomme mais également au temps qu'il y consacre, en précisant ses déterminants et en introduisant de nouveaux facteurs permettant d'expliquer l'existence de contraintes de temps pour chaque activité de consommation.

Dans le domaine des transports, les approfondissements passent notamment par la distinction introduite entre la valeur du temps des déplacements domicile-travail et la valeur du temps consacrée aux autres motifs de déplacement. La première est appréciée sur la base du salaire horaire net, le coût d'opportunité étant celui du temps de travail puisque celui-ci peut se substituer au temps de transport ou à celui de loisir. La valeur du temps pour l'individu est égale au revenu correspondant à une unité supplémentaire de temps de travail et à laquelle l'individu a renoncé. Cependant, cette valorisation peut être plus directe dans le cas où il existe une concurrence entre plusieurs modes de transport sur un trajet donné. Leurs différences de coût peuvent, en effet, être imputées, toutes choses égales par ailleurs, à des différences de vitesse et donc à des gains de temps. Un supplément de charges d'habitation consenti pour habiter plus près de son lieu de travail est aussi un indicateur de la valeur accordée au temps gagné (Benard, 1985). Dans le cas des autres motifs de déplacements (loisirs notamment), la valeur du temps rapportée à celle du temps de travail implique que tous les temps présentent la même utilité marginale.

La valeur que les usagers accordent à un gain de temps de transport est un paramètre prépondérant dans l'explication de leurs choix d'itinéraires et de mode de transport. Cependant, la difficulté réside dans le fait qu'il n'existe pas une valeur du temps unique : la diversité des facteurs explicatifs de choix de déplacements implique une estimation de la valeur du temps à l'instant où se réalise le choix.

Le cadre conceptuel dans lequel se placent les modèles d'évaluation de la valeur du temps est celui de l'utilité aléatoire (Mc Fadden, 1973, Ben Akiva, Lerman, 1985), qui suppose que l'individu choisit l'alternative associée à la plus grande utilité conditionnelle indirecte. Les modèles de choix discrets supposent qu'une utilité aléatoire U_i , traduisant le niveau de satisfaction qu'elle procure à l'individu, est associée à chaque possibilité de choix i ($i=1, \dots, n$). Cette utilité aléatoire dépend d'une utilité déterministe composée des caractéristiques du choix i et de celles de l'individu ainsi que d'un terme aléatoire reflétant les erreurs de mesure.

Hammadou et Jayet (2002), en partant de la formulation du choix du consommateur de Bates et Robert (1986), définissent la valeur d'une économie de temps pour les

déplacements par le mode i comme le rapport des coefficients du temps et du prix. C'est la variation de prix que l'individu est prêt à consentir pour obtenir une variation unitaire de la durée de parcours :

$$VT_i = -\frac{\partial Vi / \partial t_i}{\partial V_i / \partial p_i} = \frac{k_i}{\lambda} \quad (1.1)$$

où les k_i sont les multiplicateurs des contraintes spécifiques à chaque mode, λ le multiplicateur de la contrainte de budget, t_i et p_i respectivement le temps et le prix associé au mode de transport de l'usager.

Cependant, les auteurs soulignent la limite de cette forme linéaire car elle traduit une invariance des valeurs du temps, le type de l'usager et la nature du déplacement ne modifiant pas la valeur observée. Il est en effet peu probable qu'un individu devant réaliser un déplacement en moins d'une heure accorde la même importance à un gain de temps de 5 minutes selon que ce gain le fait passer de 59 à 54 minutes ou de 20 à 15.

Afin de pallier cette invariabilité, l'utilisation d'un modèle non-linéaire permet de donner une valeur du temps dépendant du revenu, des temps de trajet et des prix pratiqués. Ainsi, peut-on juger de la variabilité de la valeur du temps en fonction des caractéristiques du trajet. La valeur du temps s'écrit alors :

$$VT_i = -\frac{\partial Vi / \partial t_i}{\partial V_i / \partial p_i} = \frac{\gamma R - \gamma p_i + \delta - \xi}{-\alpha + \beta p_i - \beta R - \eta t_i} \quad (1.2)$$

où R représente le revenu de l'usager, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ et ξ les coefficients du modèle à estimer.

Fontan et de Palma (2001) comparent ces deux modèles en calculant la valeur du temps par type de mode de transport (voiture particulière et transport collectif) à partir de données empiriques fournies par l'Enquête Globale de Transport (EGT, 1991) sur l'Ile-de-France.

L'utilité pour un individu k choisissant un mode de transport i est définie par :

$$V_i^k = \beta_1 tt_i^k + \beta_2 C_i^k + \delta' X_i^k \quad (1.3)$$

où :

tt_i^k représente le temps de trajet que l'individu k subira pour rejoindre sa destination en voiture particulière ou en transport en commun;

C_i^k est le coût de la voiture ou du transport collectif pour l'individu k ;

X_i^k est un vecteur de variables caractéristiques de l'individu k et/ou du déplacement en voiture particulière ou en transport en commun.

Notons que les coefficients β_1 et β_2 prennent les mêmes valeurs dans les deux fonctions d'utilité de la voiture particulière et du transport collectif car les temps de trajet et les coûts sont supposés avoir les mêmes effets marginaux pour les utilisateurs des deux modes de transport.

La valeur du temps (VT) correspond au rapport des utilités marginales au temps et au coût, c'est-à-dire au ratio des paramètres de temps et de coût :

$$VT = \frac{\partial V / \partial tt}{\partial V / \partial C} = \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad (1.4)$$

Les auteurs estiment, à partir d'un modèle logit linéaire, une valeur du temps à 85 francs par heure. Les résultats révèlent également que la valeur du temps augmente avec le niveau de revenu. Le modèle devient, par conséquent, plus réaliste si l'on introduit dans le modèle la non linéarité du revenu et si l'on suppose que les sensibilités du choix de mode aux variables de temps et de coût (β_{1i} et β_{2i}) sont distribuées dans la population. La valorisation du temps de trajet par un usager des transports en commun diffère de celle d'un usager de la voiture particulière, en raison de la nature très différente des variables de temps de trajet entre les deux types de mode. La valeur du temps est affectée par l'hypothèse de variabilité dans la population des paramètres du modèle.

Une formulation logarithmique est alors retenue :

$$U_i = \beta_{1i} \ln(tt_i) + \beta_{2i} \ln(y - C_i) + \delta' X_i \quad (1.5)$$

Le coût du mode C est débité du revenu mensuel y de l'individu. Par conséquent, une baisse du prix du mode (ou une hausse du revenu de l'individu) aura plus d'effet sur le niveau d'utilité pour un individu dont le revenu est plus faible.

Comme précédemment, la valeur du temps d'un individu k utilisant un mode de transport i se calcule comme le rapport des utilités marginales au temps et au coût :

$$VT_i^k = \frac{\partial U_i^k / \partial tt_i^k}{\partial U_i^k / \partial C_i^k} = \frac{\beta_{1i}}{\beta_{2i}} \frac{(y^k - C_i^k)}{tt_i^k} \quad (1.6)$$

La prise en compte du revenu de façon non linéaire dans la fonction d'utilité conduit à une valeur du temps moyenne^g plus élevée (de l'ordre de 110 francs par heure en moyenne) par rapport à la formulation linéaire. En outre, la valeur du temps en Ile-de-France des usagers en transport en commun est plus faible que celle des usagers de la voiture particulière (de l'ordre respectivement de 96 francs par heure et de 122 francs par heure)^h.

La valeur du temps apparaît donc comme une fonction des trois variables principales du choix du mode : le temps de trajet, le coût et le revenu.

D'après Four, Guivarch et Lafon (2004), ces deux modèles appliqués sur la même étude et sur le même échantillon de personnes donnent des valeurs du temps peu cohérentes. Selon Hammoudou et Jayet (2002), les évaluations disponibles de la valeur du temps en France sont très peu nombreuses et reposent sur des bases méthodologiques peu rigoureuses. C'est pourquoi, ils proposent d'établir une comparaison des principaux modèles théoriques disponibles et des valeurs auxquelles conduit leur estimation. Ils aboutissent à des résultats surprenant dans la mesure où leur étude démontre qu'il existe autant de valeurs du temps que de spécifications différentes avec une très forte variabilité entre les modèles. La valeur du temps pour un déplacement en voiture particulière pouvant, par exemple, être estimée à 37 Francs par heure par le modèle avec « effet revenu et durée de trajet » estimé par Hammoudou et Jayet (2002) et à 280 Francs par heure par le modèle de De Serpa (1973). Cette différence importante entre les valeurs obtenues s'explique en grande partie par les modèles ne distinguant pas les différents modes de transport. Or, la valeur du temps est dépendante de nombreux facteurs (caractéristiques socio-économiques, démographiques, etc.) ayant une influence notable sur sa variabilité.

La valeur du temps n'est donc pas unique, elle diffère selon une multitude de caractéristiques. Cependant, bien qu'apparaissant limitée, cette notion de valeur du temps ne doit pas être rejetée car elle apparaît déterminante dans l'évaluation des projets d'infrastructures ou d'offre de transport.

Ce qui compte le plus pour évaluer le trafic d'une nouvelle infrastructure est la distribution de la valeur du temps et pas seulement la valeur unitaire moyenne retenue pour

^g La valeur moyenne du temps est obtenue par application des coefficients estimés aux moyennes de variables explicatives de l'échantillon.

^h Dans le cadre des déplacements liés au travail.

le calcul économique. Pour Zahavi, aussi, le choix d'une durée moyenne quotidienne de temps de transport ne doit pas masquer une dispersion forte autour de la moyenne. Dans un cas comme dans l'autre, il faut souligner la différence entre deux approches complémentaires. Une qui se base sur des valeurs moyennes pour donner vie à une sorte d'agent représentatif, et une autre qui n'oublie pas la grande dispersion des comportements autour de la moyenne.

1.1.2 Les limites de la théorie du surplus, fondement théorique de l'analyse coûts-bénéfices

L'analyse coûts-bénéfices demeure centrale dans tout projet d'investissement. Elle permet de comparer les apports socio-économiques d'une nouvelle infrastructure rapportés à son coût dans le but de satisfaire l'intérêt collectif, c'est-à-dire de faire ressortir l'utilité de l'investissement pour la collectivité. Les besoins de transport doivent être assurés par la puissance publique aux moindres coûts économiques et sociaux pour la collectivité.

L'intérêt de l'analyse coûts-avantages est de sélectionner des projets d'équipement ou d'activité les plus susceptibles d'accroître le bien-être collectif, ce qui revient à garantir un surplus non négatif.

La nouvelle instruction-cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport, datée du 25 mars 2004, précise les objectifs généraux que doivent respecter les nouveaux projets en matière d'évaluation économique (besoins des usagers, développement économique et social, etc.) et de réduction ou de stabilisation des effets externes négatifs engendrés par une infrastructure de transport (bruit, pollution, consommation d'énergie, etc.). La *Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs* (LOTI) oblige à s'assurer de l'efficacité économique, financière, sociale et environnementale des projets en fonction des coûts et des conditions de construction, d'exploitation, d'entretien et de renouvellement de l'infrastructure.

Cette nouvelle instruction révise les valeurs tutélaires retenues pour monétariser certains effets externes tels que le temps, le bruit ou la pollution engendrés par les grands projets d'infrastructure interurbains. Les évaluations économiques des grands projets d'infrastructure concernent essentiellement les projets interurbains. Or, ces derniers peuvent influer sur les niveaux de bruit ou de pollution en milieu urbain. L'analyse des projets en milieu urbain fait appel à des notions complexes de redistribution de la demande, de qualité de service et de gains d'accessibilité non abordés dans cette nouvelle

instruction et ne rend pas pleinement compte des interactions entre projets de transport et développement urbain.

Le cadre théorique généralement retenu pour l'évaluation des politiques de transport est celui du calcul économique. Son principe est fondé sur la maximisation de la fonction d'utilité collective ou encore du surplus global de productivité. L'analyse coûts-avantages, en restituant la variation du surplus global fournit une mesure de la variation d'utilité consécutive au projet ou à la politique qu'il s'agit d'évaluer (Bonnafous, Masson, 1999).

L'intérêt de l'analyse coûts-bénéfices est de sélectionner le projet d'investissement en équipement le plus à même de satisfaire le bien-être collectif. Pour cela, la théorie du surplus du consommateur permet de mesurer le bien-être social par une fonction d'utilité collective individualiste de type parétienne.

1.1.2.1. La contrainte de la redistribution

Une des principales difficultés que présente l'analyse est l'agrégation des variations des utilités des individus qui composent la société. Si ces variations d'utilité entre deux états sont positives pour tous les individus, la transformation est alors souhaitable. En revanche, une difficulté se pose lorsque le changement améliore la situation de certains et détériore celle des autres. Pour rendre opératoire cette valeur théorique, il faut supposer une répartition des revenus optimale, l'attribution à la marge d'un avantage pouvant alors bénéficier indifféremment à n'importe quel individu. Cependant, cette hypothèse est démentie par la société dès lors qu'elle reconnaît la nécessité d'une redistribution (Bonnafous, Masson, 1999). « *Par conséquent, la variation de l'utilité collective constitue alors une mesure de l'intérêt collectif du projet évalué, mais une mesure qui évacue toute considération redistributive. D'où la difficulté de prendre en compte dans le calcul économique des objectifs d'aménagement du territoire qui sont le plus souvent des objectifs de redistribution spatiale des ressources* ».ⁱ Cette proposition est notamment renforcée par l'idée que le calcul économique permet de montrer que les investissements qui apportent la contribution la plus forte à l'accroissement de la fonction d'utilité collective sont ceux dont le taux de rentabilité socio-économique interne est le plus élevé, le taux de rentabilité interne d'un projet étant le taux d'actualisation pour lequel s'équilibrent les avantages actualisés et les coûts actualisés. La rentabilité d'une

ⁱBonnafous, Masson, *Op. cit.*, p.5, 2002.

infrastructure dépend de son utilisation et donc de l'importance des trafics. Par conséquent, ce sont les zones les plus denses, à forte génération de trafic confrontées au problème de congestion, généralement situées dans les régions développées et bénéficiant d'un niveau initial d'accessibilité élevé qui bénéficient de ces investissements.

Bonafous et Masson, dans leur analyse sur l'évaluation des politiques de transport et l'équité spatiale, apportent une démonstration à la relation entre rentabilité et trafic telle que les projets d'infrastructure, hormis la situation d'abondance, sont d'autant plus rentables qu'ils sont destinés à supporter des flux importants. Ils démontrent également l'existence d'une corrélation positive entre les trafics et l'accessibilité. Par conséquent, « *le fait qu'existent un lien positif entre rentabilité et trafic d'une part, et un lien positif entre trafic et accessibilité d'autre part, [leur] permet de conclure que les objectifs de rentabilité des investissements et ceux de l'aménagement du territoire sont contradictoires, hors situation d'abondance de l'offre de transport^j* ». Les programmes les plus rentables présentent en effet généralement une variation du surplus qui est une fonction croissante du rang d'accessibilité. En revanche, les programmes redistributifs dégagent des surplus moins importants.

1.1.2.2. La prise en compte des éléments non monétisables dans l'évaluation des projets

Les autres limites traditionnellement énoncées de cette approche résident dans le fait que tous les effets d'une infrastructure ne peuvent être monétisés. Cependant, les conclusions tirées de la table ronde des systèmes nationaux de planification des infrastructures lors de la *Conférence Européenne des Ministres des Transports* (C.E.M.T.) de 2004, relativisent l'obstacle de l'évaluation monétaire des facteurs hétérogènes. En effet, l'essentiel des facteurs qui conditionnent la rentabilité d'une infrastructure peut être traduit en termes monétaires et les éléments non monétisables sont très rarement décisifs dans l'évaluation de rentabilité, bien qu'ils puissent être politiquement déterminants.

^j Bonafous, Masson, *Op. cit.*, p.14, 2002.

1.1.3 Les difficultés d'application de la méthode coûts-avantages pour les infrastructures en milieu urbain

1.1.3.1. Les effets externes des projets d'infrastructure

La méthode d'évaluation coûts-avantages pose des problèmes dans la mesure où elle n'intègre pas de manière exhaustive les effets externes des projets évalués tels que les effets sur l'environnement ou les effets structurants sur l'espace. En effet, cette technique d'évaluation, fondée sur le calcul du surplus de l'usager, est limitée dans la mesure où elle n'est valable que pour des transformations marginales proches de l'optimum social. Son extension au cas de transformations non marginales pose des difficultés en terme de mesure de l'efficacité (mesure du surplus collectif et redistribution). Or, les effets engendrés par les projets de transport en milieu urbain ont souvent un caractère non marginal. D'une part, ils se traduisent à court terme par l'existence de trafics induits (Boarnet et Charlempong, 2001, Masson, 2001) engendrés par une augmentation de la capacité des routes qui réduit notamment la congestion et par une diminution des temps de déplacements qui influe sur le coût généralisé du transport. D'autre part, à plus long terme, cet accroissement de la capacité peut altérer le schéma spatial des origines et destinations des déplacements et influencer le niveau de trafic en affectant les schémas de développement urbain. L'extension du système de transport influence fortement celui des localisations et par conséquent la distribution des valeurs foncières.

1.1.3.2. Le caractère moins discriminant de la valeur du temps en milieu urbain

Comme le soulignent Morellet et Marchal (2001), hormis les phénomènes d'urbanisation proprement dits, la mobilité urbaine se développe sur les mêmes principes fondateurs que la mobilité interurbaine. Par conséquent, il est envisageable d'inscrire ces deux types de mobilité dans un modèle analytique unique, en l'occurrence le modèle MATISSE (INRETS, 2001), capable de prévoir efficacement la demande de transport en classant les demandes par grands types de déplacement, essentiellement classés selon leur sensibilité au prix et au temps de parcours. Globalement, partout où des gains de vitesse sont possibles et techniquement accessibles financièrement, les modes dotés des plus faibles coûts généralisés sont plébiscités. C'est notamment le cas de l'automobile en zone urbaine. Mais, si les bases analytiques sont les mêmes, les implications notamment

spatiales, de l'accroissement de la mobilité urbaine posent des problèmes spécifiques (Crozet, 2003).

Le modèle MATISSE propose un cadre permettant la réunification de l'urbain et de l'interurbain, tout en répliquant les principales différences connues entre ces deux milieux.

Les phénomènes de trafic ne sont pas générés de la même façon suivant le milieu considéré. Les trajets urbains sont de courte distance contrairement au milieu interurbain caractérisé principalement par des trajets de longue distance. En outre, en milieu urbain, la mobilité des individus est plus forte, la période d'absence du domicile est plus brève, le partage modal des trajets est différent, la croissance du nombre des trajets est moins rapide sous l'effet du contexte socio-économique et la valeur du temps des voyageurs est plus faible.

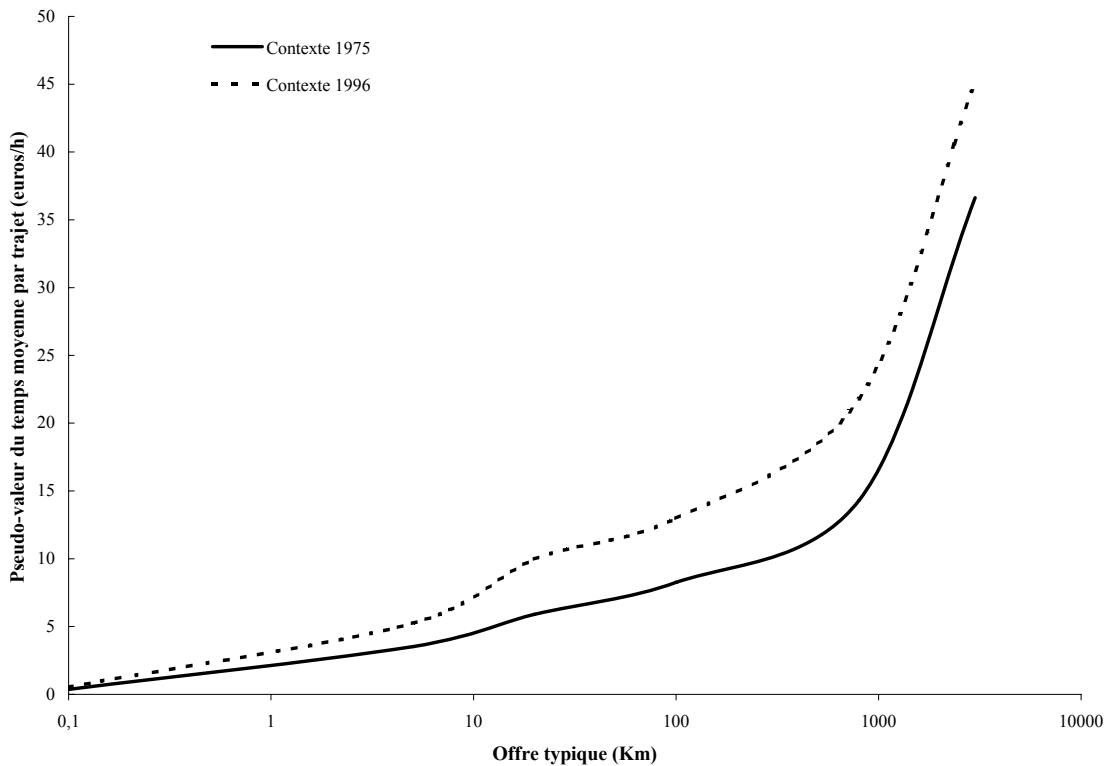
Contrairement aux modèles classiques où la valeur du temps est une quantité première, supposée connue *a priori* pour chaque type de voyageur considéré, le modèle MATISSE permet de déduire un indicateur – la *pseudo-valeur* du temps- qui traduit l'importance accordée (dans les circonstances particulières considérées et dans ces circonstances seulement) par le voyageur à un gain de temps marginal comparativement à une augmentation du prix marginale. Cette *pseudo-valeur* du temps des trajets, qui varie avec l'offre de transport, permet ainsi d'estimer la façon dont l'individu valorise un gain de temps marginal pour chaque trajet, qu'il soit urbain ou interurbain.

La figure 1.1 représente la variation de la moyenne des *pseudo-valeurs* du temps par trajet pour différentes offres de transport.

A contexte socio-économique donné (1975 ou 1996), la loi de distribution des trajets se déforme au profit des fortes *pseudo-valeurs* du temps au fur et à mesure que s'accroissent les prix et les temps de trajet, de façon très nette entre 100 mètres et quelques dizaines de kilomètres, puis de façon sensiblement plus modérée.

Ainsi, comme l'illustre la figure 1.1, la valeur du temps apparaît moins discriminante en milieu urbain. Par conséquent, le recours à la méthode coûts-avantages pour analyser une infrastructure de transport en milieu urbain apparaît limitée.

Figure 1.1 : Moyenne des pseudo-valeurs du temps par trajet pour différentes offres de transport



Source : Morellet, Marchal (2001), adapté des tableaux 3 et 4 page 97.

1.1.3.3. Un exemple d'application sur l'agglomération lyonnaise : le périphérique nord de Lyon au regard de la méthode coûts-avantages

Dans la recherche de la capitalisation des externalités liées aux gains d'accessibilité induits par le développement d'une nouvelle infrastructure routière à péage, la difficulté réside dans la nécessité de la prise en compte de l'internalisation de ces gains de temps par les différents agents de l'économie. En effet, comment peut-on modéliser l'arbitrage effectué par un ménage entre choix de localisation et coût généralisé de transport (valeur du temps, péage urbain, etc.) ? Des études réalisées au sein du Laboratoire d'Economie des Transports (Raux, Souche, 2001) permettent d'éclaircir le problème.

Afin de calculer les effets de l'introduction du périphérique Nord de Lyon sur les dimensions de l'acceptabilité, les auteurs utilisent le “modèle stratégique de simulation des déplacements” développé par le LET et la SEMALY en 1997. Ceci permet de simuler à l'échelle de l'agglomération les conséquences à moyen et long terme de politiques variées de transports. Le modèle repose sur un découpage spatial de l'agglomération en 25 zones et une représentation de l'offre routière sous forme d'arcs de zone à zone, chaque arc étant

défini par une capacité (unités de voitures particulières par heure) et une vitesse nominale représentatives de l'offre de voirie. Parmi les quatre étapes du modèle que sont la génération, la distribution spatiale, le choix modal et le choix d'itinéraire sur les réseaux, seuls varient ces deux derniers choix pour aller d'une zone à l'autre. Les résultats des simulations effectuées montrent qu'en termes d'accessibilité aux emplois à partir de chacune des 25 zones, la distribution des avantages et des inconvénients apportés par la nouvelle infrastructure s'opère de manière inégalitaire entre les différentes zones de l'agglomération. Les valeurs du temps n'étant pas connues pour Lyon, et compte tenu des études de valeurs du temps déjà effectuées notamment dans le cadre du projet européen TRACE (1998)^k

la base de calcul retenue est une distribution des valeurs du temps identique à celle de la distribution des salaires horaires dans les entreprises et telle que la valeur horaire moyenne du temps de déplacement soit égale au salaire horaire moyen. L'étude TRACE avait pour objet de mieux comprendre la relation entre le coût de l'usage de la voiture et la demande de déplacements en voiture. Ce coût étant défini comme un coût généralisé faisant intervenir tant le coût monétaire (prix du carburant, prix du stationnement, etc.) que le temps de trajet en voiture. L'étude devait donc prendre en compte la valeur du temps, et plus précisément, les valeurs du temps spécifiques des différents groupes socio-économiques, et relatives à différents types de déplacements.

Les auteurs montrent que l'essentiel de la variation du surplus provient des modifications des conditions de déplacement des utilisateurs de la voiture particulière. Mais dans l'ensemble les automobilistes sont perdants car soit ils perdent du temps sur les voies gratuites, soit le gain de temps procuré par la voie rapide ne compense pas suffisamment le coût du péage. Enfin, pour mesurer l'impact du péage en fonction de la catégorie de revenu auquel l'individu appartient, l'analyse fait une hypothèse simplificatrice en supposant que la répartition des revenus selon les différentes origines-destinations est identique à la répartition moyenne des revenus sur l'ensemble de l'agglomération. Les résultats montrent que pour obtenir une variation de surplus positive pour toutes les catégories d'automobilistes, les gains de temps permis par la nouvelle infrastructure doivent être importants (d'environ 30 minutes).

Les relations entre les gains d'accessibilité, leurs effets structurants et le calcul économique ne sont donc pas convenablement élucidées (Bonnafous, 1992). Si le calcul

^k Etude sur les coûts internes des déplacements privés sur route et leurs effets sur la demande.

économique ne prend pas en compte la dimension spatiale, le choix des investissements d'infrastructure n'en est pas moins décisif pour la structuration de l'espace.

1.2. L'accessibilité, pivot de l'évaluation des infrastructures en milieu urbain

La diffusion de l'automobile a fortement influencé les composantes de l'espace urbain qui ne sont plus agglomérées suivant le principe de proximité, mais au contraire diffusées suivant le principe de l'accessibilité automobile (Pouyanne, 2003). Simultanément, l'attrait des ménages pour un mode de vie de plus en plus autonome et davantage consommateur d'espace a été rendu possible par la diminution des coûts de transport et l'amélioration des conditions de déplacement. Progressivement, avec l'évolution des conditions de la mobilité, la ville pédestre « héritée » (Wiel, 1999) caractérisée par des densités élevées (de population, d'emplois, etc.), s'est étendue.

Bonnafous et Tabourin (1998) ont montré, à partir des travaux de René Bussière (1972), que l'évolution du système de déplacement a commencé à inverser les mécanismes de densification de la ville de Paris dès 1911. Ils observent notamment une diminution progressive à la fois du gradient de la densité en fonction de la distance au centre et de la densité au centre durant la période 1911-1968. Cette période de la ville-motorisée voit donc sa population augmenter principalement à la périphérie de la ville et par conséquent, sa densité résidentielle décroître de moins en moins rapidement en fonction de la distance au centre.

1.2.1 La mise en exergue du phénomène de croissance-étalement par le modèle de Bussière

Le modèle de Bussière (1972) est une première synthèse entre l'évolution des densités urbaines et les mécanismes de propagation spatiale de la croissance urbaine. Il fournit une estimation de la population urbaine totale $P(x)$ dont la qualité dépend de celle de l'estimation de la densité $D(x)$ définie par Clark en 1951 de la façon suivante :

$$D(x) = A \exp(-bx) \text{ avec } A = \frac{Nb^2}{2\pi} \quad (1.7)$$

où A représente la densité extrapolée au centre de la ville, b le taux de décroissance exponentielle de la densité en fonction de la distance au centre, x la distance au centre et N la population totale.

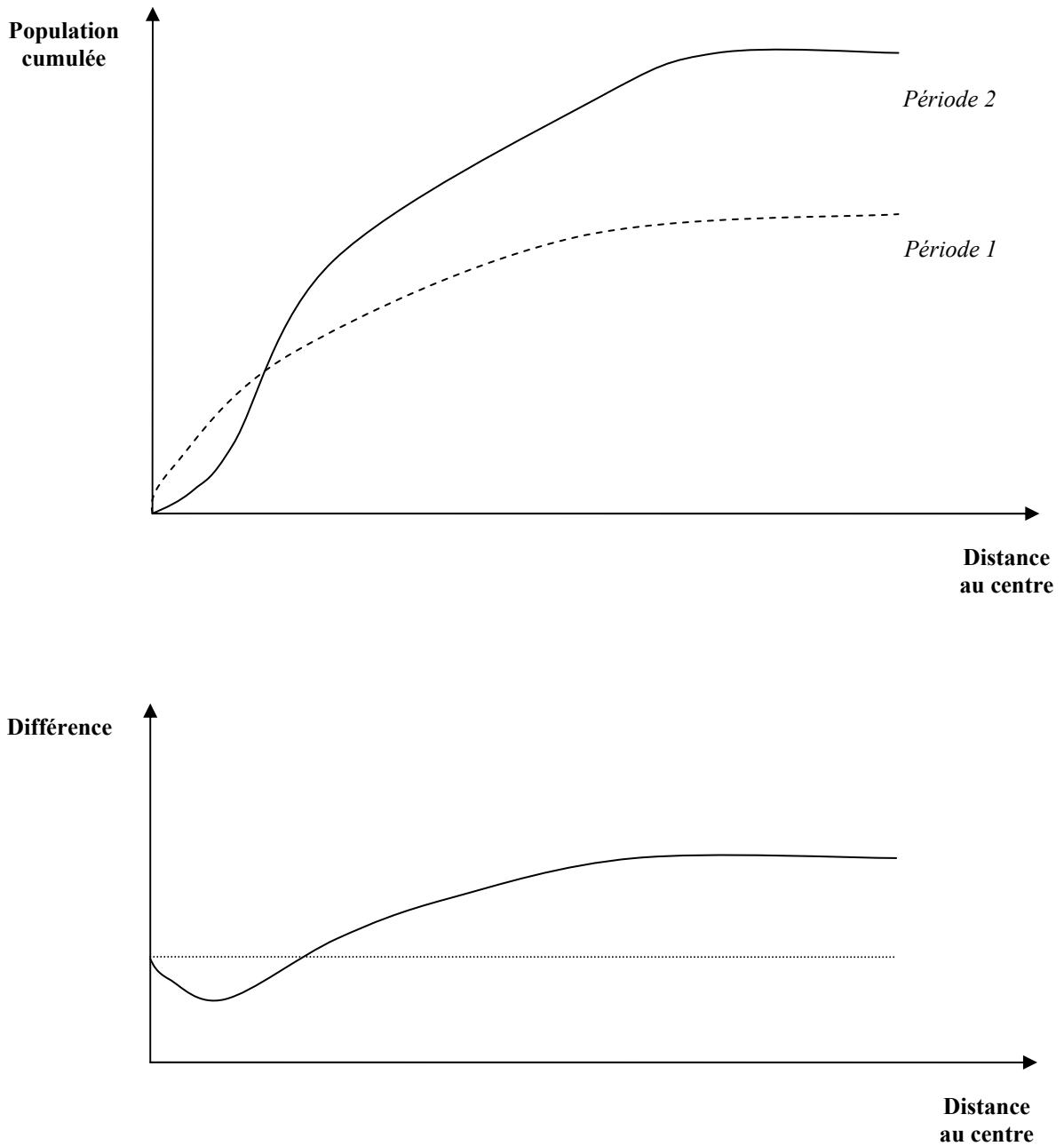
$$P(x) = \frac{2\pi A}{b^2} [1 - (1 + bx) \exp(-bx)] \quad (1.8)$$

Il établit une correspondance entre l'évolution exponentielle des densités et la population urbaine totale comprise à l'intérieur d'un cercle de rayon x.

La forme de la fonction $P(x)$ peut être représentée graphiquement (*cf. figure 1.1*) entre deux périodes afin de rendre compte du phénomène d'étalement que Bussière (1972) caractérise par les évolutions des seuls paramètres A et b : « *la croissance des villes modernes, dans la phase actuelle de leur développement, s'accompagne régulièrement d'une diminution dans le temps de la densité au centre, ainsi que d'une diminution du taux de décroissance de la densité en fonction de la distance au centre* » (cité par Bonnafous, 1993).

Les deux graphiques ci-après, montrent non seulement que la progression de la population totale s'accompagne d'une extension spatiale de la ville mais également que « *cette croissance ne se réduit pas à un simple phénomène de concrétion aux franges du rayon urbain. C'est l'ensemble de l'espace urbain qui s'est modifié, avec une diminution de la population dans la zone la plus centrale et une augmentation ensuite*

Figure 1.2 : « Le phénomène de croissance-étalement »



Source : Bonnafous, Tabourin : « Modélisation de l'évolution des densités urbaines ». Extrait de « Données urbaines 2 », 1998.

Appliqué au cas de Lyon, ce modèle a donné des résultats similaires à ceux obtenus par Bussière quant à l'évolution des paramètres A et b dans le temps : une diminution de la densité estimée au centre de la ville et une diminution du taux de décroissance de la densité en fonction de la distance au centre. Cependant, lorsqu'il est confronté aux données réelles du périmètre des 45 kilomètres autour de Lyon, ce modèle sous-estime la croissance de la population près du centre et au-delà de 30 kilomètres alors qu'il la surestime dans l'espace intermédiaire. Cette « *régularité dans l'erreur* » a conduit Bonnafous et Tabourin à

amender le modèle de Bussière en introduisant une fonction linéaire à la fonction $P(x)$ de la façon suivante:

$$P(x) = \frac{2\pi A}{b^2} [1 - (1 + bx) \exp(-bx)] + Kx \quad (1.9)$$

Les auteurs obtiennent alors une estimation par le modèle amendé très proche des données réelles. Les paramètres A et b restent décroissants alors que le paramètre K est croissant. L'étude de ce paramètre K sur plusieurs secteurs géographiques de l'espace des 45 kilomètres autour de Lyon permet d'observer une très forte corrélation entre la valeur de K et la dotation des différents axes en infrastructures de transport. Par conséquent, « *si les infrastructures ont un impact certain sur les logiques de localisations nouvelles des ménages, elles sont également programmées là où les besoins de desserte sont les plus importants* ». En outre, ce découpage géographique fait apparaître deux types de logique de l'étalement urbain : l'une « *concentrique qui rend compte de la propension qu'a la ville à accaparer les espaces qui la jouxtent* », l'autre *radiale qui affecte seulement les secteurs géographiques qui possèdent de grandes infrastructures de transport.*¹ »

Le modèle de Bussière amendé démontre parfaitement l'importance du rôle des infrastructures de transport sur la forme de l'étalement urbain et donc sur l'organisation de l'espace.

D'après Marc Wiel (2002), la ville est un système dynamique s'adaptant en permanence aux incessantes et fluctuantes interactions de ses occupants et non pas un système statique qui conduit les pouvoirs publics à formuler des politiques de déplacements indépendamment des politiques d'aménagement. Ce sont les arbitrages des ménages et des entreprises pour organiser leur mobilité en fonction de leur localisation, et réciproquement, qui modèlent et dessinent la ville. Ces acteurs disposent de ressources inégales (en temps, en revenu, etc.) et ne sont pas tous concernés par les interactions sociales si bien que de cette inégalité et de cette diversité des attentes se déduit la façon dont s'arbitre la compétition pour l'occupation de l'espace. L'espace urbain est caractérisé par des déplacements et des localisations qui se co-déterminent l'un l'autre. Il convient donc de concevoir l'agencement urbain et les « *conditions de la mobilité* »^m comme interdépendants.

¹ *Op. cit.*, p.178

^m Marc Wiel définit les conditions de la mobilité comme toutes les informations qui caractérisent les personnes, l'agencement urbain et l'offre en déplacements et qui permettent d'apprécier le type accessibilité incombant à chaque individu.

1.2.2 L'impact des gains de temps sur la forme urbaine

La vitesse et le temps de déplacement sont des facteurs clés de structuration de la morphologie urbaine. Les moyens de transport rapides ont pour objectif de faire gagner du temps. Or, il semblerait, qu'avec l'accroissement des vitesses, l'impression de rareté du temps augmente. La croissance tendancielle des revenus associée à un budget temps quotidien stable conduit le temps à devenir, en termes relatifs, « le bien le plus rare ». L'amélioration des vitesses de transport se traduit par un réinvestissement du temps gagné, dans d'autres déplacements, et à l'étalement de la zone d'activités potentielles des individus (Crozet, Joly, 2003).

Lors de l'ouverture d'une infrastructure de transport, les usagers bénéficient dans un premier temps de gains de temps car leurs destinations restent inchangées. Puis, au cours du temps, ces individus étant à la recherche de destinations plus pertinentes, augmentent leur portée de déplacement et les temps de transport retrouvent alors leurs niveaux antérieurs. L'utilité supplémentaire que les usagers attachent à la possibilité de choisir entre un plus grand nombre de biens accessibles, dans un temps qui ne varie pas, est strictement identique à la valeur que ces mêmes usagers attachent à l'économie de temps, et plus généralement de coût généralisé de transport qu'ils obtiennent à l'ouverture de l'infrastructure (Poulit, 1994).

D'après l'annexe II de la dernière instruction-cadre relative à « *la définition, l'évaluation et la représentation de l'utilité des destinations accessibles au sein du territoire* », de nombreuses enquêtes effectuées depuis vingt-cinq ans permettent de connaître avec précision la nature des déplacements dans les aires à dominante urbaine. Elles font notamment apparaître, à côté d'une stabilité du nombre de déplacements par personne effectués quotidiennement et une stabilité du temps consacré quotidiennement aux déplacements, une amélioration régulière des vitesses moyennes de déplacement au fur et à mesure que les projets nouveaux d'infrastructure de transport sont mis en service. Simultanément, les portées des déplacements ont régulièrement progressé dans un temps de déplacement resté stable.

1.2.2.1. La constance des budgets-temps de transport

La constance relative du temps moyen quotidien de déplacement signifie que la vitesse n'a pas fait gagner du temps mais qu'en étirant les déplacements, elle a permis aux ménages de disposer de plus d'espace (étalement urbain), de bénéficier d'espaces moins

chers, etc. La vitesse élargit donc les aires de choix. Cette mobilité « *facilitée* » redessine la ville et la transforme radicalement car elle incorpore à la ville agglomérée de nouveaux territoires où celle-ci se redéploie. L'avantage que donne plus de vitesse n'est pas le temps gagné mais la possibilité de réaliser durablement de multiples interactions sociales dans de meilleures conditions. Evidemment il n'y a pas que la vitesse qui y contribue (Wiel, 2002).

Pour conserver la stabilité du budget temps de transport (hypothèse de Zahavi), les gains de temps dus à l'accroissement des vitesses qu'obtiennent les ménages seraient systématiquement réinvestis dans du transport supplémentaire. Par conséquent, l'étalement urbain résulterait de l'augmentation des vitesses de déplacement.

D'après Joly (2003), « l'hypothèse forte » de constance des budgets temps de transport, telle que définie par Zahavi au début des années 80 comme la somme des temps quotidiens de déplacement par individu égale en moyenne à une heure pour chaque agglomération, signifie que les individus réalisent un arbitrage entre la ressource temporelle nécessaire aux déplacements quotidiens et la vitesse des déplacements qui représente le coût temporel des déplacements. La réduction du « prix temporel » du transport permet alors aux individus d'étendre l'espace-temps de leurs accessibilités. Ce sont donc les gains d'accessibilité qui prennent sur les gains de temps en matière de choix individuels.

Cependant, cette hypothèse a été remise en cause, les budgets temps de transport sont en effet affectés par d'autres variables significatives relatives à la structure urbaine et à l'offre de transport (Joly, Masson, Petiot, 2003).

1.2.2.2. La remise en cause de l'hypothèse de Zahavi

Afin d'analyser les rapports espace-temps de la mobilité des villes du monde, Joly (2003), s'appuie sur une base de données constituée par *l'Union Internationale des Transports Publics (UITP)* pour l'année 1995 et qui renseigne les trois grands aspects de la mobilité à savoir le comportement de mobilité, le système d'offre de transport et la structure urbaine pour 100 villes du mondeⁿ. L'étude des budgets-temps de transport permet ainsi d'établir une relation entre les sources génératrices de transport que sont l'activité et la situation socio-économique de l'individu, le système d'offre de transport et la structure de l'espace urbain. Le budget-temps de transport moyen obtenu (45 minutes) avoisine les résultats obtenus par Zahavi (48 minutes). Plus récemment, Schafer (2000) a

ⁿ Tous les continents et toutes les tailles d'agglomérations étant représentés.

estimé le budget temps de transport moyen à 66 minutes mais les méthodes utilisées n'étaient pas tout à fait les mêmes (absence de prise en compte de la marche à pied par exemple). Cependant, Joly souligne que la dispersion dont font preuve les budgets-temps de transport laisse présager l'existence de mécanismes internes. Il établit notamment une relation décroissante entre les budgets-temps de transport et la densité urbaine sur l'ensemble des agglomérations des pays développés. Par conséquent, les villes de type *extensif* (nord-américaines par exemple) payent leur extension spatiale par un surcoût temporel de déplacement.

Le découpage des villes mondiales en deux sous-groupes de types *extensif* et *intensif* (associé aux villes européennes et aux métropoles asiatiques), remet en cause la pertinence de l'hypothèse de Zahavi. Pour les villes du modèle *extensif*, l'augmentation des distances parcourues dépend non seulement de l'amélioration des vitesses mais également de la croissance des budgets temps de transport. Les villes du modèle *extensif*, bien que présentant des vitesses globalement plus élevées que celles du type *intensif*, ont aussi des budgets temps de transport plus importants. Les vitesses accrues de ces villes ne semblent donc pas « faire gagner du temps » (Crozet, Joly, 2003). Pour parcourir plus de distances, les individus ont dû supporter en contrepartie un surcoût temporel.

En outre, il démontre par la relation croissante entre budget temps de transport et PIB que la croissance économique de ces villes semble susciter des budgets temps de transport de plus en plus importants alors que les villes de type *intensif* (européennes) parviennent à maîtriser leurs consommations temporelles.

Le modèle des villes *extensif* remet en question le lien de causalité possible entre les vitesses, les budgets temps de transports et les distances parcourues. Si les vitesses perdent leur rôle de maintien du niveau de mobilité, elles conservent leur pouvoir générateur de mobilité. La croissance des transports qui pouvait, selon la conjecture de Zahavi être simplement une projection linéaire des gains de vitesse, pourrait être pour le modèle *extensif*, une croissance exponentielle (Crozet, Joly, 2003). L'accessibilité des villes intensives pourrait être plus grande que celle des villes extensives et permettrait, par conséquent, de maintenir la stabilité des dépenses temporelles.

1.2.3 Gains de temps versus gains d'accessibilité

La section précédente a montré que lors de la mise en service d'une infrastructure, l'usager préfère augmenter la longueur moyenne de ses déplacements plutôt que de réduire ses temps de déplacement et ses coûts de transport.

Le temps de transport est une composante du coût généralisé de transport. Par conséquent, la vitesse du déplacement est devenue une variable clé de la demande globale de transport puisque l'accroissement de la vitesse représente potentiellement une réduction du coût généralisé de déplacement (Crozet, 2003). Les décisions publiques d'investissements en infrastructure de transport dépendent de la valeur du temps révélée par les usagers du transport. Logiquement, le calcul économique recommande d'investir prioritairement là où les gains de temps sont possibles, c'est-à-dire là où devrait apparaître un surplus collectif. Cependant, bien que cette proposition ait démontré sa robustesse par son application sur de nombreuses infrastructures de transport interurbaines (TGV, transport aérien, autoroutes interurbaines, etc.), il apparaît difficile d'appliquer une telle démarche dans un contexte urbain. Le temps de transport est, en effet, considéré comme une constante dans les activités des individus plutôt que comme une variable à réduire.

La ville est moins considérée comme la proximité organisée (d'où l'insistance sur les gains de temps) que comme l'accessibilité organisée ce qui renvoie non pas à une vision parcellaire du transport ou du déplacement, mais à une approche globale des déplacements auxquels invitent les opportunités d'accès de la zone urbaine.

D'après Poulit (1974), les modèles de trafic montrent que lorsque l'urbanisation est très étendue, c'est-à-dire lorsque les destinations potentielles ne sont pas limitées dans l'espace, le temps généralisé de déplacement est pratiquement constant quelle que soit la nature du réseau de transport desservant l'aire urbanisée. Les durées de déplacement sont donc indépendantes des efforts entrepris pour améliorer les infrastructures de voies et de transports. Ainsi le coût généralisé de transport, fréquemment utilisé dans les analyses coûts-avantages, apparaît limité pour caractériser le point de vue de l'usager. Il ignore, en effet, tout ce qui fait l'attrait des concentrations urbaines, c'est-à-dire l'éventail des choix offerts en matière d'emplois, de services ou de loisirs. Les déplacements sont la manifestation de l'intérêt que les usagers portent aux destinations qui leurs sont offertes. Si les trajets s'allongent, cela signifie que les choix augmentent. Seul un critère permettant de

tenir compte des multiples choix de destinations offertes par l'amélioration du réseau de transport peut, par conséquent, être satisfaisant.

L'utilisation du critère de coût généralisé de transport comme critère d'évaluation du service rendu à l'usager conduit à des incohérences évidentes.

Poulit (1974), propose de lever ces incohérences par une méthode d'évaluation de la satisfaction de l'usager. La loi de distribution des déplacements à partir d'une zone émettrice à destination de toutes les zones réceptrices qui l'entourent est à la base même de l'interprétation économique de l'accessibilité.

La distribution des déplacements s'effectue proportionnellement au nombre de biens des zones réceptrices (Q_j) et proportionnellement à une fonction exponentielle décroissante du coût généralisé de déplacement entre i et j . La répartition des usagers n'est pas uniquement fonction du coût du déplacement mais également du nombre des biens disponibles à la destination.

Afin que la satisfaction des usagers reste constante, il suffit qu'à toute augmentation du coût de transport soit associée une multiplication des choix offerts à la destination croissante.

La satisfaction ressentie par l'usager (S_{ij}) dépend de l'intérêt que l'usager attribue à la possibilité de pouvoir disposer à sa destination d'un marché d'emploi, de services ou de biens ($\log Q_j$) ainsi que du coût généralisé de transport (c_{ij}). Elle est donc de la forme :

$$S_{ij} = \lambda \log(Q_j) - c_{ij} \quad (1.10)$$

où λ est un facteur de pondération égal à $\frac{c_0}{\alpha}$ (c_0 étant le coût d'une heure de transport et α le coefficient exprimant la rapidité de l'effet d'atténuateur de la distance dans la loi de distribution des déplacements).

L'équation (6), peut également se réécrire :

$$S_{ij} = \lambda \log(Q_j^*) \quad (1.11)$$

car Q_j^* représente les biens de la zone j pondérés par le coefficient atténuateur de l'effet de la distance entre i et j ^o.

La satisfaction d'un résident de la zone i vis-à-vis de l'ensemble des biens offerts par l'ensemble des zones j qui entourent la zone i peut alors s'écrire sous la forme :

^o Le facteur d'atténuation de la distance étant de forme exponentielle, $\lambda \log(Q_j^*)$ correspond à $\lambda \log(Q_j) - c_{ij}$.

$$S_i = \lambda \text{Log}(\sum_j Q_j *) \quad (1.12)$$

où, $\sum_j Q_j *$ représente l'ensemble des biens accessibles à partir de la zone i ou encore l'accessibilité de la zone i (A_i).

Par conséquent, on a :

$$S_i = \lambda \text{Log}(A_i) \quad (1.13)$$

avec :

$$A_i = \sum_{j=1}^n Q_j \exp\left(-\frac{c_{ij}}{\lambda}\right) \quad (1.14)$$

L'indice d'accessibilité permet de mieux rendre compte des effets de l'amélioration du réseau de transport sur la satisfaction des usagers en termes de variation de leurs périmètres de choix ou de développement urbain contrairement aux coûts généralisés de transport qui peuvent rester inchangés à la suite de la mise en service d'une infrastructure. Poulit (1974) montre, par exemple, que l'indice de choix croît sensiblement en fonction de la taille de l'agglomération tout comme les dépenses de transport mais celles-ci le font moins rapidement de telle sorte que l'indice d'accessibilité (ou l'utilité des déplacements) s'améliore avec la taille d'une zone agglomérée. Ainsi, le recours aux indicateurs d'accessibilité permet de mettre en évidence l'interrelation fondamentale qui existe entre le transport et l'urbanisme. Le système de transport offre, en effet, aux résidents un panel de choix (d'emplois, de commerces, de services, etc.) qui ne pourrait pas se manifester en son absence. Par conséquent, l'occupation des sols n'influence pas seulement le système de transport mais les investissements en projets d'infrastructure ont également un impact sur les décisions de planification de l'espace urbain.

La notion d'accessibilité, dont nous venons d'indiquer le caractère central dans l'analyse de l'impact des infrastructures de transport en milieu urbain, est d'ailleurs par définition à l'interface du système de transport et du schéma d'agencement des activités au sein d'un espace urbain. Elle assure la synthèse et l'articulation de ces deux ensembles du processus, en mêlant, dans toutes les mesures qui peuvent en être proposées, des éléments relatifs au temps de déplacement (générés par un système de transport) et d'autres liés aux modes d'occupation du sol.

L'évaluation de l'impact des infrastructures de transport en milieu urbain suppose donc d'élucider les interactions entre transport et urbanisme. L'importance de ces

interdépendances entre système de transport et d'occupation des sols dans les processus de planification est à la base du fondement des modèles d'interactions de transport et d'urbanisation.

2. La prise en compte des interdépendances entre le système de transport et le processus de développement urbain par les modèles d'interactions entre transport et urbanisme (LUTI)

Les premiers modèles de transport / urbanisation recensés au début du siècle précédent sont assez descriptifs ou analytiques. Parmi les plus influents, on trouve le modèle de Von Thünen^p qui a cherché à expliquer la localisation des activités agricoles autour des villes en considérant que le seul facteur de structuration de l'espace est constitué par la distance des terres au marché. Burgess a développé, au milieu des années 20, un modèle fondé sur la théorie des zones concentriques et Hoyt (1939) a construit un modèle sur les processus à structure radiale qui délimite des secteurs particuliers en forme de cône^q.

Bien que la majorité de ces modèles n'apportent que de faibles justifications théoriques ou sont dépassés et limités pour décrire la situation des villes actuelles, ils ont fourni un cadre environnemental de simulation urbaine important et une base solide sur laquelle peuvent s'appuyer les travaux les plus récents dans ce domaine.

2.1. Présentation générale

La complexité des interactions transport / urbanisation conduit la formulation de modèles destinés à prévoir et analyser le développement des systèmes urbains à un niveau de détail tel qu'ils puissent intégrer les processus les plus essentiels du développement spatial urbain.

2.1.1 La boucle de rétroaction de Wegener

D'après Wegener (1994), on distingue huit types de sous-systèmes urbains: les réseaux, le mode d'occupation des sols, les lieux d'emploi, les lieux de résidence, l'emploi, la population, le transport de marchandises et les déplacements de personnes. Un modèle interactif doit au moins prendre en considération deux de ces sous modèles qui peuvent

^p Pour un descriptif plus détaillé de ce modèle cf. chapitre 2.

^q Pour une analyse plus détaillée de ces modèles nous renvoyons à la littérature existante (Camagni, 1996, Torrens, 2000)

être ordonnés selon la vitesse à laquelle ils se transforment, c'est-à-dire leur temporalité (du long terme au court terme).

Wegener et Fürst (1999), ont établi une classification de ces sous-systèmes urbains allant du processus le plus lent au plus rapide :

- Changement très lent : *réseaux, occupation des sols*. Le transport urbain, les réseaux de communications et d'utilité sont les éléments les plus permanents de la structure physique des villes. Les grands projets d'infrastructure nécessitent une décennie voire plus et une fois en place, ils sont rarement abandonnés. La distribution de l'occupation des sols est également stable ; elle change seulement de façon résiduelle.
- Changement lent : *lieux d'emplois, logements*. Les logements ont une durée de vie supérieure à un siècle et leur construction prend plusieurs années. Les lieux d'emplois (bureaux, usines, centre commerciaux, etc.) existent plus longtemps que les entreprises ou les institutions qui les occupent.
- Changement rapide : *emploi, population*. Les entreprises s'établissent, se ferment, se délocalisent, etc., et par conséquent créent de nouveaux emplois ou bien affectent l'emploi. Les ménages, en fonction de leur cycle de vie, ajustent leur consommation de logement et leur motorisation ; ce qui détermine la distribution de la population et des propriétaires de voiture individuelle.
- Changement immédiat : *les biens transports, déplacements*. La localisation des activités dans l'espace donne lieu à une demande d'interaction spatiale sous la forme de biens transport ou de déplacements. Ces interactions sont le phénomène le plus flexible du développement spatial urbain ; elles peuvent s'ajuster à la minute ou à l'heure aux changements de la congestion ou aux fluctuations dans la demande bien qu'en réalité les ajustements peuvent être retardés par des habitudes, etc.

Il existe un neuvième sous-système, l'environnement urbain. Son comportement temporel est particulièrement complexe. L'impact direct des activités humaines, tel que le bruit des transports et la pollution de l'air est immédiat. D'autres effets tels que la contamination de l'eau ou du sol augmentent de jour en jour. Les effets du climat à long terme sont tellement lents qu'ils sont difficilement observables. Tous les autres sous-systèmes affectent l'environnement par leur consommation d'espace et d'énergie, la pollution de l'air et les émissions de bruit. Tandis que seuls les choix de localisation des

investisseurs en logements, des ménages, des firmes et des employés sont co-déterminés par la qualité de l'environnement.

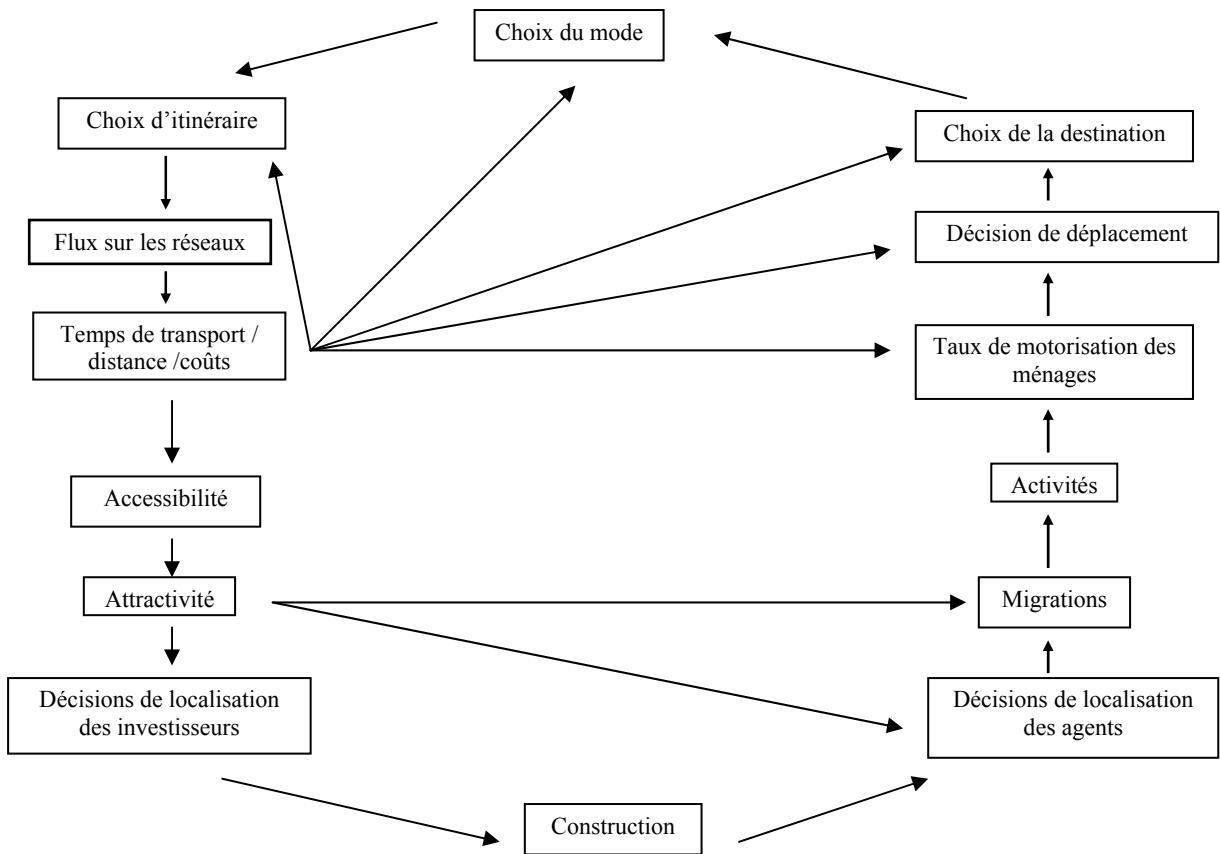
Tous ces sous-systèmes sont en partie soumis au marché et en partie, sujets aux politiques de régulation.

La figure 1.3 représente la boucle de rétroaction des interactions entre transport et urbanisation définie par Wegener.

La distribution des modes d'occupation des sols urbains, telles que les zones résidentielles, industrielles ou commerciales, détermine la localisation des activités humaines (résidence, travail, achats, éducation ou loisir). La distribution de ces activités entraîne des interactions spatiales matérialisées par des déplacements qui s'effectuent sur les réseaux de transport en fonction du choix de la destination, du taux de motorisation et du mode de déplacement. S'ensuit alors la formation des flux sur les réseaux qui déterminent les conditions de l'accessibilité (temps de transport, coût, distance, congestion), qui, elles mêmes couplées au niveau d'attractivité de la zone, influencent les décisions de localisation des investisseurs et celles des nouvelles constructions. Par conséquent le système d'urbanisation se trouvant modifié, engendre une révision des décisions de localisation des résidents et des activités.

Depuis le modèle de Lowry (1964), de nombreux auteurs ont cherché à modéliser cette boucle de rétroaction entre le système de transport et l'urbanisation. Aujourd'hui, il existe un panel de modèles *LUTI* dont la diversité peut être résumée à partir de la classification en cinq groupes établie par Simmonds, Echenique et Bates (1999).

Figure1.3 : Boucle de rétroaction transport/urbanisation (Wegener)



2.1.2 La classification des modèles LUTI

Un premier groupe de modèles a pour objet d'optimiser les configurations urbaines plutôt que de prédire les impacts des politiques de transport sur l'évolution de la structure urbaine. Ces modèles sont généralement utilisés dans une perspective de planification à long terme mais ils ne sont pas, en principe, adaptés à la prévision des impacts des politiques de transport et d'aménagement sur l'évolution des aires urbaines préexistantes.

Parmi les modèles de prévision, on distingue deux classes de modèles : *statiques* et *quasi-dynamiques*. Les modèles statiques s'appliquent à un moment donné dans l'espace-temps, alors que les modèles quasi-dynamiques fonctionnent sur plusieurs périodes de temps, ainsi peuvent-ils prendre en compte les changements du système des transports qui nécessitent généralement plus d'une période de temps pour avoir un impact sur l'occupation du sol.

2.1.2.1. Les modèles statiques

La plupart des premiers modèles d'occupation des sols étaient des modèles statiques qui essayaient de prévoir la localisation de certaines variables en considérant les autres variables comme données (Lowry, 1964). De tels modèles ne pouvaient donc pas représenter de façon réaliste les processus de changement urbain, qui par nature prennent un certain temps pour réagir à n'importe quel changement de situation.

Les modèles statiques ne reflètent pas réellement le fait que seulement une fraction des ménages et des actifs se déplace dans une période de temps donnée et que les marchés fonciers et immobiliers peuvent ne jamais atteindre l'équilibre mais s'ajustent continuellement vers un équilibre. Le développement urbain est un processus incrémental dans lequel les changements apparaissent à la marge, à partir de la distribution existante des activités, des infrastructures, du logement et de l'espace non résidentiel.

Ces modèles statiques sont cependant aujourd'hui retenus pour deux raisons principales : d'une part, ils constituent un moyen économique de prendre en considération l'impact du système urbain sans pour autant s'engager dans un travail fastidieux de construction d'un modèle dynamique. D'autre part, les modèles statiques définissent un état d'équilibre dont l'intérêt est de permettre une caractérisation voire une quantification des déséquilibres à l'origine des processus de changement urbain (Simmonds, Echenique, Bates, 1999).

Cette catégorie de modèles s'appuie sur deux méthodes :

- l'approche « *single input* » : l'accessibilité issue du modèle de transport permet de déterminer les modes d'usage du sol (*cf. IMREL, MUSSA*);
- l'approche « *double input* » : elle explore les impacts des stratégies de transport alternatives, par rapport à une hypothèse de base (*cf. DSCMOD*).

2.1.2.2. Les modèles quasi-dynamiques

Parmi les modèles quasi-dynamiques, on distingue ceux basés sur l'*entropie* (Wilson, 1970 ; *LILT* Mackett, 1983; *DRAM/EMPAL*, Putman, 1995), les *modèles spatiaux-économiques* qui intègrent dans un cadre spatial des modèles économiques indépendants (*MEPLAN*, Echenique et al., 1990 ; *MENTOR*, Echenique et Partners, 1998 ; *TRANUS*, De la Barra et al., 1984 ; *METROSIM*, Anas, 1994) et ceux *basés sur les activités* (*DELTA*, DSC, 1994, *IRPUD*, Wegener, 1983, *URBANSIM*, Waddel, 2002).

Les modèles spatiaux-économiques cherchent à inscrire les phénomènes socio-économiques dans leur dimension spatiale. Leur structure est cohérente avec les standards de l'économie traditionnelle dans la mesure où ils s'attachent à représenter pleinement les mécanismes économiques théoriques du marché afin d'aboutir à l'équilibre entre offre et demande à la fois pour les comportements d'usage des sols et pour les transports.

L'approche des modèles basés sur l'activité se focalise sur les différents processus de changement qui affectent les activités et les espaces qu'elles occupent. Ces modèles se caractérisent par une segmentation plus détaillée de l'activité et un traitement plus élaboré des décisions de déplacement et des choix de localisation. Contrairement à d'autres modèles, ils ne relocalisent pas toutes les activités à une période de temps donnée mais ils séparent les décisions de déplacement (qui affecteront seulement une part des activités totales) et la recherche d'une nouvelle localisation. En outre, ces modèles représentent les changements démographiques de façon plus détaillée.

2.2. L'intégration progressive des modèles de transport et d'urbanisme dans les modèles *LUTI*

Hormis les différentes variantes existantes en ce qui concerne la structure d'ensemble, les bases théoriques, les techniques de modélisation ou les données requises, les modèles de transport et d'urbanisme diffèrent fondamentalement sur deux points. On distingue, d'une part, les modèles « *pleinement intégrés* » des modèles « *connectés* », d'autre part, les modèles se différencient selon leur niveau de résolution spatiale

2.2.1 Modèles « *pleinement intégrés* » versus modèles « *connectés* »

Les modèles “ *pleinement intégrés* ” possèdent une certaine rigueur théorique. Les matrices *Origine-Destination* sont déterminées à l'intérieur du module d'affectation d'usage des sols. Les lieux de résidence et d'emplois peuvent par exemple être déterminés à l'intérieur du module de marché du logement (les ménages, qui font un arbitrage entre coût de transport et rente foncière, sont alloués aux localisations résidentielles conditionnellement à leurs lieux de travail).

Dans les modèles “ *connectés* ”, les localisations résidentielles sont déterminées par rapport au niveau d'accessibilité potentielle aux zones d'emplois, mais les lieux d'emplois ne peuvent être déterminés qu'à partir de la distribution des déplacements déterminée par le module de transport. L'approche par les modèles connectés implique des processus de

localisations résidentielles relativement longs et dépendants d'une variété de facteurs telle que l'accessibilité aux emplois. La modélisation des choix de localisation résidentielle serait pourtant apparemment plus flexible.

Les modèles *quasi-dynamiques*, recensés dans le tableau 1.1, montrent qu'il existe autant de modèles « *connectés* » que de modèles « *pleinement intégrés* ». Néanmoins, quelle que soit la modalité d'articulation entre transport et urbanisme choisie, le degré d'intégration du volet transport et urbanisme des modèles traditionnels demeure insuffisant : les modèles pleinement intégrés n'existent pas en tant que tel (Waddel, 2001).

2.2.2 L'amélioration du degré de résolution spatiale dans les nouvelles modélisations des interactions entre transport et urbanisme

Aujourd'hui, la modélisation urbaine est confrontée à de nouvelles problématiques en raison des questions de développement durable, de développement des nouvelles technologies et des politiques d'aménagement. Les modèles doivent donc être capables de prédire non seulement les impacts économiques mais également les impacts environnementaux des politiques de transport et d'aménagement urbain. Cependant les systèmes *LUTI* existant sont trop agrégés pour répondre à ces enjeux. Les modèles classiques distinguent seulement quelques entreprises, groupes socio-économiques et catégories de logements. De plus, la plupart d'entre eux reposent sur un système zonal dans lequel il est supposé que tous les attributs sont uniformément distribués à travers une zone. Les interactions spatiales entre les zones sont établies par l'intermédiaire de réseaux de transport reliés uniquement aux centroïdes des zones. Enfin, ils ignorent que les activités socio-économiques et leurs impacts environnementaux sont continus dans l'espace. Plusieurs techniques, permises aujourd'hui par l'accroissement des performances des logiciels de calculs informatiques, tentent de dépasser ces limites et de rendre possible la reproduction spatiale complexe des comportements des individus. Il s'agit notamment de la micro-simulation, des modèles d'automates cellulaires ou des modèles multi-agents.

2.2.2.1. Les modèles de micro- simulation

Les méthodes de micro- simulation suggèrent une nouvelle organisation des modèles urbains basés sur un point de vue microscopique du changement urbain. De façon basique, la micro- simulation est la reproduction d'un processus « macro » par plusieurs processus « micro ».

Ces modèles reproduisent les comportements humains au niveau de l'individu, c'est-à-dire la façon dont les individus choisissent entre plusieurs options, suivant leurs perceptions, leurs préférences et leurs habitudes sous contrainte d'incertitude, de manque d'information et des limites de temps et d'argent.

Ce n'est que récemment (les premières expériences remontent aux années soixante) que la micro- simulation a retrouvé un intérêt car sa flexibilité lui permet de modéliser des processus qui ne peuvent pas être modélisés dans les modèles agrégés.

Il existe, aujourd'hui, plusieurs modèles de micro- simulation en Amérique du Nord : *CUF*, *ILUTE*^r (Canada, 1998), *URBANSIM* et *TLUMIP* (deuxième génération du programme *LUTI*). En Europe, on trouve seulement quelques projets nationaux tels que *ALBATROSS* de Arentze et Timmermans (2000) ou *ILUMASS* (en développement sur Dortmund et fondé sur le modèle *IRPUD* de Wegener).

2.2.2.2. Les modèles d'Automates Cellulaires

Les modèles d'automates cellulaires se sont développés à partir de 1994 avec les contributions de Batty (1994) et Clarke *et al.* (1999). Ils permettent de simuler le développement urbain.

La plupart d'entre eux n'intègre pas vraiment un modèle de transport. En général, ils supposent qu'il existe un réseau de transport mais le flux de trafic n'est pas simulé. Les travaux récents tentent de lever cette simplification.

Un modèle cellulaire automate comprend plusieurs cellules (des morceaux d'espace) spécifiées par un nombre fini d'états particuliers. Chaque changement d'état doit être local et dépendre uniquement des facteurs et des règles caractérisant les cellules voisines (les cellules contigües). A chaque cellule est associée une probabilité de transition d'un état à un autre. Par exemple, la probabilité pour une cellule rurale de devenir résidentielle.

Plus récemment, des recherches ont expérimenté des extensions du modèle d'automates cellulaires en se rapprochant des modèles multi- agents. Ils assimilent les cellules à des agents preneurs de décisions tout en essayant d'étendre l'interaction au-delà du voisinage (Batty et Jiang, 1999 ; O'Sullivan et Torrens, 2000).

^r Integrated Land Use and Transportation Environment

Enfin, les travaux actuels de Arentze et Timmermans (2001) permettent de modéliser comment les différents agents concourent pour les mêmes localisations ou bien retirent des avantages de leurs synergies.

2.2.2.3. Les modèles Multi-Agents

Les modèles multi-agents sont issus de l'approche automate cellulaire mais s'en différencient par la prise en compte de la confrontation des règles de décisions des agents. Ils simulent les interactions sociales complexes entre les agents individuels (Axtell et Epstein, 1996). La plupart des développements de cette approche s'appuient sur la structure *SWARM* (Langton et al., 1995).

Les applications des simulations des modèles multi-agents ont émergé pour représenter les interactions sociales dans Ascape (Parker, 1998), les processus spatiaux tels que les flux pédestres (Batty et al. 1998) et les interactions économiques (Tefastion, 2000).

L'évolution de la théorie des jeux annonce de nouveaux travaux permettant d'analyser les interactions des agents sur les marchés sous des hypothèses moins restrictives que l'approche néoclassique des marchés de concurrence pure et parfaite. Elle peut par exemple développer des modèles de marchés d'interactions permettant des variations dans les règles de décision utilisées par les agents et faire émerger des résultats sur les marchés provenant des expériences en matière de succès et d'échec de ces interactions individuelles.

Les nouvelles méthodes tentent donc d'apporter des améliorations quant à la conception des modèles *LUTI* et à leur façon de modéliser les processus d'interactions complexes entre le système de transport et l'organisation de la structure urbaine. Elles s'attachent notamment à remédier à leur agrégation spatiale excessive ainsi qu'à leur faible résolution spatiale par le recours aux modèles de micro-simulation, d'automates cellulaires ou de multi-agents. Mais ces méthodes sont aussi fortement consommatrices de procédures lourdes. C'est pourquoi, certains modèles existants tels que *URBANSIM* intègrent les aspects de ces développements récents à un niveau fortement désagrégé, basé sur les modèles multi-agents et les automates cellulaires.

2.2.2.4. La spécificité du modèle URBANSIM

Parmi les modèles d'interaction entre transport et urbanisme présentés dans le tableau 1.1, *URBANSIM* diffère de façon significative des nombreuses autres approches de modélisation opérationnelle existantes, notamment des modèles d'interaction spatiale *DRAM/EMPAL*, des modèles spatiaux « entrées- sorties » *TRANUS* et *MEPLAN*, de *MUSSA* développé par Martinez (1995) ou encore du modèle *CATLAS* de Anas (1982) devenu plus tard *METROSIM* ou *NYMTC-LUM*.

Selon Dowling (2000), *URBANSIM* se distingue positivement des autres modèles pour plusieurs raisons. Tout d'abord et principalement, les modèles doivent être utiles pour évaluer les politiques et les stratégies de planification et surtout pour estimer les outils permettant de les appliquer. *URBANSIM* est le modèle le plus désagrégé ; il modélise l'espace urbain au niveau de la parcelle et la demande de transport au niveau de la zone de trafic. En outre, de nombreuses structures sont basées sur des hypothèses d'équilibre général tandis que *URBANSIM* a une approche plutôt dynamique. De nombreuses applications sont également temporairement agrégées par périodes de cinq ans alors que *URBANSIM* calcule les changements tous les ans fournissant ainsi une estimation continue des différents instruments d'application des politiques planificatrices.

Tableau 1.1 : Les modèles quasi-dynamiques

Modèles	Application	Modèles	Marché foncier et immobilier	Résolution spatiale
				Intégrés/Connectés
LILT <i>(Mackett, 1979, 1983)</i>	Leeds.	<i>Connectés</i>	<i>Non modélisé</i> et les prix ne sont pas considérés.	
DRAM/ EMPAL <i>(Putman, 1995)</i> (modèle simplifié de LILT). Version modifiée : <i>METROPILUS</i> (S.I.G.).	Etats-Unis (années 90).	<i>Connectés</i>	<i>Non représenté.</i>	<i>Faible.</i> <i>Zones de trafic.</i>
MEPLAN <i>(Echenique et al., 1990)</i>	San Sebastian, Londres, Tunnel sous la Manche, etc.	<i>Intégrés</i>	<i>Représenté.</i> Les prix s'ajustent à l'équilibre de court terme.	<i>N'importe quel degré de résolution spatiale.</i> Applications usuelles à l'échelle communale.
MENTOR <i>(Echenique et al., 1998)</i>	Cambridge	<i>Intégrés</i>	<i>Représenté.</i>	<i>Zonage de MEPLAN</i>
TRANUS <i>(de la Barra, Perez, 1982)</i>	Caracas, 1981 Bruxelles, 1998	<i>Intégrés</i>	<i>Représenté.</i> Les prix s'ajustent à l'équilibre à chaque période.	<i>Zonage de MEPLAN</i>
METROSIM <i>(Anas, 1982)</i>	New-York, Chicago ; San Diego	<i>Intégrés</i>		<i>Faible.</i> <i>Zones de trafic déterminées par le module de transport.</i>
IRPUD <i>(Wegener, 1983, 1998)</i>	DORTMUND.	<i>Connectés</i>	<i>Représenté.</i> Les prix s'ajustent à l'équilibre à chaque période.	<i>Faible résolution spatiale.</i> <i>Zones de trafic.</i>
URBANSIM <i>(Waddel, 1994)</i>	Eugene-Springfield (1994), Paris (2005).	<i>Connectés</i>	<i>Représenté.</i> Modélisation dynamique de l'ajustement avec retard des prix fonciers et immobiliers.	<i>Toutes types de résolution spatiale.</i>

2.2.3 La représentation des marchés fonciers et immobiliers dans les modèles d'interaction

La démarche mise en œuvre dans les différentes générations des modèles *LUTI* permet de proposer une formalisation des boucles d'interactions entre transport et urbanisme. Toutefois, en dépit des progrès réalisés notamment au niveau de l'échelle spatiale à laquelle sont appréhendées ces interactions, la pertinence de ces approches reste contrainte par la qualité de la formalisation des mécanismes d'ajustement sur les marchés fonciers et immobiliers. Si le marché foncier ou immobilier n'est pas représenté, les effets sur le prix du sol des changements dans les services ou les politiques de transport ne peuvent pas être estimés. Sans une représentation de ces marchés, il est donc difficile de capturer les aspects clés du processus de développement urbain, ou bien de tester les nombreuses politiques publiques qui ont un impact sur le prix foncier et le développement.

Plus précisément, les modèles *LUTI* modélisent l'articulation entre transport et modes d'occupation du sol à partir de la relation entre les différentiels d'accessibilité entre les différentes zones et les différentiels de rente foncière qui permettent d'assurer l'équilibre du marché. Cette relation entre les différentiels d'accessibilité et de rente foncière est fondée sur la disposition des ménages à payer pour bénéficier d'une meilleure accessibilité. L'intensité de la valorisation, par les ménages, des gains d'accessibilité est donc au cœur des mécanismes d'interaction entre transport et urbanisme formalisés par les modèles *LUTI*.

Selon le rapport Boiteux (2001), évoquant la question de la création et de la récupération éventuelle de la rente foncière créée par une nouvelle infrastructure de transport ou par l'amélioration d'une infrastructure existante, « *il est clair et communément admis que de telles plus-values ne doivent pas être prises en compte au titre des avantages d'un projet, car elles peuvent être interprétées comme une internalisation par les propriétaires des alentours d'avantages déjà pris en compte dans l'évaluation tels que les gains de temps* »^s. La valorisation immobilière d'un projet, à travers les plus-values foncières et/ou immobilières qu'il génère, permet, en effet, d'obtenir une évaluation directe de la valorisation, par les ménages, des gains d'accessibilité procurés par la nouvelle infrastructure. En outre, les mécanismes d'ajustement des marchés fonciers et/ou immobiliers permet de révéler la valorisation globale des gains d'accessibilité résultant de l'agrégation des dispositions à payer spécifiques des différentes catégories de ménages, notamment en fonction de leur revenu et/ou de leurs caractéristiques socio-économiques.

^s Op. Cit. p.69

Le marché foncier est l'un des éléments structurants de l'espace urbain. Il est donc important de comprendre comment se forme le prix du sol (rente foncière) et comment les activités s'organisent au sein de la ville en fonction des variations de ce prix.

Le prix des biens fonciers et immobiliers capitalise la valeur des aménités et des biens publics. A population homogène, le différentiel de prix lié à un différentiel d'aménité ou de bien public est égal à la disposition à payer des agents pour la modification d'aménité ou de bien public correspondante. Une bonne mesure de cette capitalisation est une information importante car beaucoup d'infrastructures et d'équipements publics sont fournis sans contrepartie monétaire.

Le marché foncier et immobilier, comme le souligne Hunt et al. (2005), peut ne pas être représenté dans certains modèles d'interactions, notamment dans les modèles statiques. Lorsqu'il est représenté, il est souvent modélisé par la méthode de la maximisation de l'utilité aléatoire. Ce n'est que très rarement que ces modèles ont recours à la théorie des prix hédoniques ou de la capitalisation immobilière pour analyser les effets d'une amélioration des gains d'accessibilité sur l'évolution des prix du logement ou du sol (*cf. tableau 1.1*).

Waddell (2003), dans sa conception du modèle *URBANSIM* détermine le marché de la demande immobilière à chaque localisation ainsi que les acteurs et les processus de choix qui influencent la configuration de l'espace urbain et le prix sur le marché immobilier.

Le modèle de développement du marché immobilier simule les choix des promoteurs sur le type de construction à entreprendre et l'endroit, sur le plan d'un nouveau développement ou d'un développement de structures déjà existantes. Pour cela un modèle logit multinomial est utilisé. Les variables contiennent les caractéristiques de la zone (développement en cours, contraintes politiques, amélioration de la valeur foncière), les caractéristiques de la localisation du site (proximité d'une autoroute, d'une grande voie de communication, développements existants et récents) et l'accessibilité régionale à la population.

Le modèle de prix foncier simule les prix du sol de chaque zone d'étude en suivant les changements des caractéristiques des localisations au cours du temps. Pour chaque zone, la valeur du sol dépend des caractéristiques de la structure du logement, du voisinage et de l'accessibilité. La fonction de prix hédoniques du marché est estimée sur la base des caractéristiques et des valeurs d'une seule année. Le modèle de prix du sol simule donc la valeur du sol à chaque fin d'année après l'exécution de l'ensemble des autres modèles. Ces

prix influencent alors les choix de localisation des agents et les comportements des promoteurs pour l'année suivante.

Les effets rétroactifs des schémas de transport-urbanisation ne sont jamais réellement pris en compte dans les modèles *LUTI*. En outre, la plupart des modèles de transport et d'urbanisme ne considèrent pas explicitement le rôle de la planification spatiale dans le développement urbain, leur faible résolution spatiale leur est souvent reprochée car elle ne permet pas de capter les effets de voisinage.

La plus grande part des modèles présentés ici ne permet pas de tenir compte des effets de contiguïté ou de débordements tels que ceux qui pourraient être engendrés par le développement résidentiel d'une zone sur une autre qui lui serait adjacente, ou les effets d'agglomération à travers des zones adjacentes tels que ceux qui apparaissent lors du développement d'un centre d'emplois.

Afin de remédier à cela, de nouvelles méthodes, telles que les techniques *Raster* utilisée dans *URBANSIM* ont été développées. Cependant, ce type de méthode est très descriptif et engendre des procédures lourdes de modélisation. Les modèles ayant recours aux techniques de Système d'Information Géographique (*S.I.G.*) ont renforcé l'analyse des changements de planification urbaine en offrant la possibilité de spatialiser les données. Peu de modèles ont cependant eu recours aux techniques de l'économétrie spatiale qui permettent de prendre en compte les problèmes d'hétérogénéité des variables et l'autocorrélation spatiale. Les valeurs des logements sont en effet exposées à un haut degré de dépendance spatiale. Par conséquent, les effets spatiaux remettent en cause les hypothèses d'indépendance des observations dans les modèles des moindres carrés ordinaires.

C'est un des points essentiels que nous souhaitons traiter dans notre analyse de la capitalisation immobilière des bénéfices engendrés par la mise en service d'une infrastructure de transport.

Un autre point, qui n'apparaît pas dans la modélisation des interactions entre transport et urbanisation, nous semble primordial dans l'approche de la valorisation immobilière des gains d'accessibilité. Il s'agit de l'étude de la forme spatio-temporelle de la capitalisation. En effet, la mise en service ou l'amélioration d'une infrastructure de transport traduit des gains d'accessibilité qui se matérialisent dans des zones qui ne sont pas toujours situées à proximité de l'ouvrage. Parmi les premiers travaux d'analyse des effets d'une amélioration du réseau de transport sur la structure de la forme urbaine, Hansen (1956) a démontré que les zones bénéficiant d'un niveau d'accessibilité pertinent

ont plus de chances d'être développées et à un degré de densité plus élevé que les localisations plus éloignées de l'infrastructure. Cependant, des travaux plus récents ont infirmé ce résultat. Giuliano et Small (1993) ont notamment observé que les coûts de déplacements dans l'aire métropolitaine de Los Angeles ont un faible impact sur les choix de localisation résidentielle. Nous verrons dans le chapitre 3, que ce n'est pas le seul exemple allant à l'encontre des travaux de Hansen.

En outre, les processus de changement urbain engendrés par les impacts d'une infrastructure de transport demandent une certaine période de temps. Les problèmes des modèles *LUTI* proviennent, on l'a vu, de la vitesse de changement des différents modules qui interagissent : l'évolution des modes d'occupation du sol urbain et des réseaux est très lente. Celle des logements l'est également mais à un degré moindre alors que les changements de population interviennent rapidement et l'évolution des déplacements est encore plus rapide. La forme temporelle de la capitalisation immobilière des gains d'accessibilité ne peut alors dans ce cas être correctement illustrée. Les périodes d'analyse sur lesquelles sont construits les modèles de transport et d'urbanisme ne permettent pas la plupart du temps de considérer les effets de long terme de la mise en service d'une infrastructure de transport, tout au plus les effets engendrés dans la période suivante peuvent-ils être représentés.

Par conséquent, notre analyse s'attachera principalement à approfondir ces deux phénomènes de structure temporelle et spatiale de la capitalisation immobilière. Nous chercherons à déterminer d'une part à quelle vitesse se déroule la valorisation dans le prix des logements des bénéfices engendrés par la mise en service d'une nouvelle infrastructure de transport en nous appuyant sur le cas du périphérique Nord de Lyon. D'autre part, nous démontrerons que l'ouverture de l'ouvrage a un effet sur la forme spatiale de la capitalisation immobilière qui n'est pas toujours linéaire.

3. CONCLUSION

Ce chapitre a démontré que l'analyse traditionnelle des investissements en transport urbain, fondée sur le calcul du surplus de l'usager et la notion de valeur du temps, est inadaptée au contexte urbain. Les usagers, en milieu urbain, valorisent les opportunités de choix offertes par la mise en service d'une nouvelle infrastructure de transport plutôt que les gains de temps générés.

En outre, cette méthode d'évaluation coûts-avantages pose des problèmes dans la mesure où elle n'intègre pas de manière exhaustive les effets externes des projets évalués tels que les effets structurants sur l'espace. Elle ne permet pas, en effet, de considérer la complexité des interactions entre le système des transports et la structure de l'espace urbain.

Les modèles d'interaction entre transport et urbanisme permettent de tenir compte de ces interdépendances en analysant le développement des systèmes urbains à un niveau de détail tel qu'ils puissent intégrer les processus les plus essentiels du développement spatial urbain. La présentation de ce type de modèles a démontré que l'extension du système de transport influence fortement celui des localisations et par conséquent la régulation des valeurs foncières. Le marché foncier est l'un des éléments structurant de l'espace urbain. La capitalisation foncière signifie que le prix du sol reflète les bénéfices aussi bien que les coûts des services publics offerts aux résidents. La capitalisation fournira donc une mesure du surplus social ou de la capacité à payer un accroissement de biens publics locaux (Fujita, Thisse, 2003).

L'analyse des prix fonciers et immobiliers peut donc apporter une contribution majeure aux processus d'évaluation, voire de planification des équipements publics ou bien à la gestion de biens publics. Cela constitue le cœur de notre travail de thèse qui s'attache à remédier aux limites des modèles *LUTI* dans ce domaine en démontrant le caractère complexe de la capitalisation immobilière des gains d'accessibilité engendrés par l'amélioration du réseau de transport, non seulement par sa dimension spatiale mais également par sa dimension temporelle.