

Modélisation et systèmes urbains : une construction difficile

Mindjid MAIZIA, Enseignant chercheur au département Génie des Systèmes urbains, Université Technologique de Compiègne, mindjid.maizia@utc.fr.

Depuis les années 1960, il est convenu, grâce aux apports de la cybernétique et de l'écologie, de considérer la ville comme un (éco)système¹. L'engouement (tout relatif au regard des recherches qui ont découlé sur des formalisations concrètes) pour la systémique et la modélisation dans la planification urbaine ou la recherche sur la ville s'explique différemment selon les points de vue : parfois, ce fut le faible crédit accordé aux études urbaines en tant que sciences sociales dans les années 1960 qui poussa les chercheurs de l'urbain à s'orienter vers la formalisation systémique² en cherchant une légitimation scientifique par l'emprunt d'un langage traditionnellement consacré aux sciences dites dures, tantôt l'air du temps exhortait par un certain « optimisme technologique »³ les sciences urbaines à employer les technologies les plus récentes –l'informatique- parce que ces dernières permettaient, grâce à la simulation, les expérimentations que ces disciplines ne pouvaient envisager par le passé, d'autres fois c'était l'efficacité inhérente à la systémique - induite par l'indépendance entre les méthodes et les objets- qui rendait cette théorie exportable aux domaines les moins « durs ».

Quelles que soient les raisons du succès de la systémique dans le champs des sciences de l'urbain, il faut préciser que les premières tentatives de systémisation de l'urbain ont d'abord été portées par les sciences de l'homme et nullement, comme pourrait le préjuger le niveau de formalisation qui le caractérise, par le génie urbain qui, jusqu'à très récemment, reposait sur un corpus de connaissances fortement compartimenté. La formalisation de la ville en système fut d'abord entreprise en tant que méthode dédiée à la compréhension de phénomènes spécifiquement urbains (socio-économiques notamment) et fut conduite par des géographes et des économistes. Il s'agissait essentiellement de proposer des modèles structurés en systèmes, ces derniers étant suffisamment sophistiqués pour s'adapter à des objets considérés comme très complexes et pour découler sur des résultats contre-intuitifs. Pour cela, on s'inspirait tantôt des systèmes de régulation des organismes vivants, tantôt des systèmes mécaniques et électriques (Forrester était ingénieur électricien lorsqu'il s'intéressa à la dynamique urbaine⁴), tantôt des systèmes logiques des sciences de l'information (par

¹ Au point où l'on créa des revues spécialisées sur ce thème (comme la revue italienne *Sistemi urbani* ou anglaise *Environment and Planning B*).

² Sayer R. A., "Understanding urban models versus understanding cities", *Environment and Planning A*, 11 : 853-862 1979, cité in Torrens P. M., *How Land-use-transportation models works*, Working paper series, Centre for advanced spatial analysis, paper 20, Avr. Nov. 2000.

³ Klosterman R. E., "Large-scale urban models: retrospect and prospect", *Journal of the American Planning Association*, 60(1):3-6, 1994.

⁴ Forrester, J. W., *Urban dynamics*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1969.

exemple, on retrouve couramment dans les ouvrages des années 1970 à 1990, une référence aux travaux de Shannon⁵).

Aujourd'hui, l'entreprise de formalisation de ce système urbain théorique ou de cet écosystème urbain « virtuel » est poursuivie et demeure inachevée. De nouvelles disciplines contribuent à cette construction à l'image, notamment, du génie urbain qui tend, par participations pour l'instant occasionnelles et hésitantes, à se transformer en génie des systèmes urbains.

L'enveloppe physique du système urbain et ses relations avec l'environnement micro-climatique

Maintes recherches ont cherché à isoler le « contenant » du système urbain, sa partie la plus visible et a priori la plus aisément accessible, afin d'identifier les relations que cette sorte d'enveloppe physique entretenait avec l'environnement naturel (au sens le plus large de ce terme).

La construction d'un écosystème « primaire » c'est-à-dire un système décrivant les relations entre le bâti urbain, les éléments naturels du climat⁶ (état physique de la biosphère) et les sens humains (principalement, la réaction aux conditions d'ambiances) peut par exemple prendre la forme d'une typologie de phénomènes environnementaux corrélés à une typologie d'espace urbain.

La contribution de ce type de recherches à la définition du développement durable⁷, malgré leur inclination à se présenter sous des formes très descriptives, est indéniable : ces études, en construisant un environnement urbain idéalisé permettent de proposer des projets de correction de l'espace urbain et de développer de nouvelles solutions alternatives pouvant améliorer les performances environnementales⁸. Cette « morpho-phénoménologie » permet également d'ouvrir de nouvelles voies de recherche, notamment en cessant de présenter l'espace urbain comme un lieu de consommation et de production de nuisances mais plutôt comme un site de production. C'est par exemple le cas dans une recherche de Traisnel et Maïzia⁹ qui porte sur le potentiel énergétique des espaces urbains. Dans cette recherche, l'espace urbain, en particulier les toitures des bâtiments résidentiels, est vu comme un « gisement » énergétique grâce aux irradiations solaires directes et diffuses reçues par les faces des toitures. La quantification de ces irradiations permet de déterminer l'énergie potentiellement mobilisable pour le réchauffement de l'eau sanitaire.

⁵ Shannon, C., Weaver, W., *The mathematical theory of communication*, Univ. Of Illinois Press, Urbana, 1949.

⁶ PENEAU J. -P. , « Morphologie urbaine et climat urbain » in : *Journée du CUEPE 1995 Énergie et climat urbain*, Genève, pp. 19-29.

⁷ Cf. notamment BREHENY M. J. *Sustainable development and urban form* Pion Limited, 1992, 292 p.

⁸ Actes du colloque : *Conception des formes urbaines et contrôle énergétique*, Nantes, 24-25 avril 1986. Nantes : CERMA, 1986, 274 p.

⁹ Traisnel J.P., Maïzia M., *ECODEV*, recherche en cours.



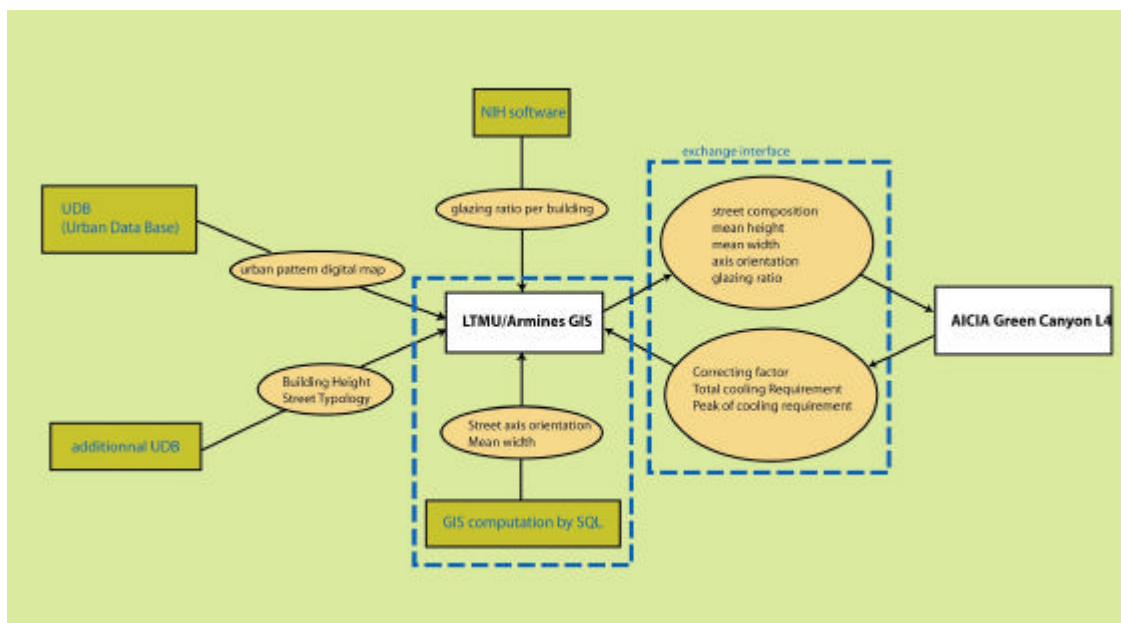
La ville est également un gisement énergétique que l'on peut distribuer grâce à un réseau.

Source Maïzia M., Traisnel J. P., *Urbacool, Energy efficient cooling systems and techniques for urban buildings (GIS and district cooling : Paris' case study)*, Rapport LTMU pour Armines, Commission européenne, DG XVII for Energy, Save II Programme, Fev. 2000.

On retrouve ce type d'approche dans une autre recherche des mêmes auteurs portant sur la détermination des charges de climatisation à Paris¹⁰. Dans cette étude, les rues parisiennes sont modélisées en canyon dont ne sont décrits que le gabarit, l'orientation et le taux de vitrage. Cette modélisation s'approche dans ce cas d'une modélisation en graphe que l'on retrouve chez la plupart des auteurs qui s'intéressent aux réseaux urbains. On suppose alors que le réseau de rues est en même temps un gisement d'apports énergétiques gratuits (solaires) et le support de la distribution d'énergie. Les modèles proposés sont de ce fait très similaires à ceux imaginés dans le domaine des transports de matières et de personnes en milieu urbain. Le réseau de voirie y est symbolisé encore par un graphe supportant des flux. La forme du réseau, que des indicateurs géométriques et topologique permettent de qualifier, est supposée influencer le comportement des flux et, par conséquent, l'incidence de ces derniers sur l'environnement. Ces indicateurs, dont on trouvera un exposé détaillé dans Dupuy, permettent de qualifier les performances des réseaux urbains, de leur capacité à

¹⁰ Maïzia M., Traisnel J. P., *Urbacool, Energy efficient cooling systems and techniques for urban buildings (GIS and district cooling : Paris' case study)*, Rapport LTMU pour Armines, Commission européenne, DG XVII for Energy, Save II Programme, Fev. 2000.

échanger avec leur environnement : la connexité, la connectivité, etc. sont autant d'indicateurs permettant de mesurer de telles capacités.



Organisation systémique découlant sur une plateforme d'échange de données et de calcul entre SIG et logiciel de calcul de charge de climatisation.

Source Maïzia M., Traisnel J. P., *Urbacool, Energy efficient cooling systems and techniques for urban buildings (GIS and district cooling : Paris' case study)*, Rapport LTMU pour Armines, Commission européenne, DG XVII for Energy, Save II Programme, Fev. 2000.

La ville est un système supportant des flux

Des flux rendus statiques...

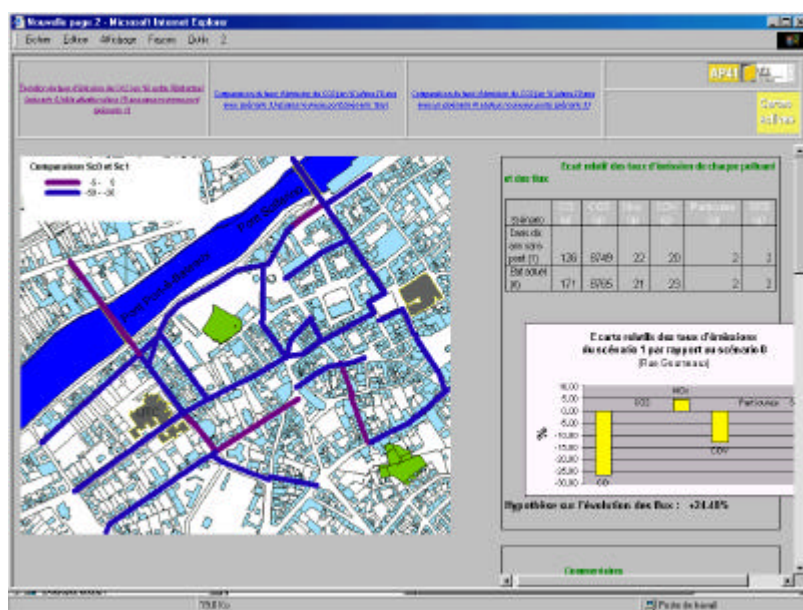
D'autres domaines de recherche de la modélisation urbaine tentent plutôt de formaliser le contenu transporté par les réseaux ainsi que les modalités de ce transport. Deux types de modèles de trafic s'opposent ainsi généralement dans ce champ emprunté à l'ingénierie routière et à l'ingénierie du transport des fluides : la modélisation dite statique et celle dite dynamique.

... qui polluent l'air urbain...

Il est très aisé, dans une modélisation statique d'intégrer la dimension environnementale en la couplant à des modèles qui respectent également une formalisation en attribut. C'est le

cas dans le modèle d'émissions de polluants COPERT¹¹ (dont trois versions ont été proposées) qui restent aujourd'hui le modèle standard.

Cette expression de l'émission permet ainsi d'ajouter un attribut à l'arc représentant une voie de circulation. Elle peut être calculée à l'aide de simples tableurs créés par le chercheur (à condition qu'il construise son propre parc automobile théorique) ou par de petites applications comme Impact-Ademe. Le couplage avec un SIG donne des graphiques du type suivant :



Interface HTML produite dans un cadre pédagogique.

Source, AP41 Le pont du port à bateaux, étude d'impact et aménagement, sous la direction de M. Maïzia, T. Mangone, GSU-UTC, 2002.

Plusieurs logiciels intègrent dans un ensemble homogène l'ensemble des modules décrits plus haut (modèles d'attraction, d'affection et d'émission). Ces outils sont généralement développés par les chercheurs eux-mêmes ou par des bureaux d'étude spécialisés. Leur diffusion reste très limitée et la plupart des études d'émission ne sont pas aisément reproductibles (quoi qu'en disent les annonces des développeurs de logiciels). Le tableau ci-dessous, loin d'être exhaustif, donne une idée sur l'ampleur de la production de ce type d'outil.

¹¹ Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, développé pour le compte de l'Agence Européenne de l'Environnement dans le cadre des activités du Centre Thématique Européen sur les Emissions Atmosphériques et de CORINAIR.

... et qui produisent des nuisances sonores.

Ce type de modélisation peuvent concerner également les nuisances sonores induites par le trafic. Dans ces cas, les équations des modèles d'émission de nuisance sonore respectent la même représentation statique sous forme d'arcs-vecteurs du trafic routier. Les variables prises en compte sont identiques à celles adoptées dans les émissions de polluants atmosphériques. L'arc routier est confondu alors à une source sonore linéaire monolithique. La représentation va parfois plus loin dans le « tubage » des flux puisque certains modèles vont jusqu'à construire un canal théorique (de section généralement cylindrique ou rectangulaire) englobant la ligne d'émission. C'est le cas par exemple pour les modèles simplifiés d'émission développé par le CERTU et dédiés aux classements des voies dans les études de PDU (de nombreuses DDE utilisent ces algorithmes simplifiés afin de répondre à la norme de calcul NF S 31-130). Dans ce modèle approximatif¹², l'attribut rajouté à l'arc correspond au niveau sonore équivalent.

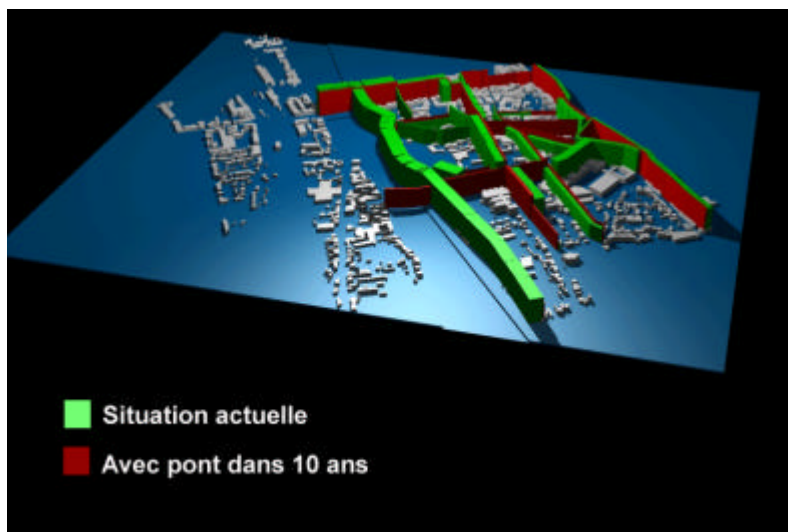
A la manière des outils quantifiant l'émission de polluants dans le milieu urbain, plusieurs logiciels de simulations des nuisances sonores basés sur une description statique des flux ont été développés dans des produits informatiques commerciaux.

La compilation des flux et de leurs nuisances ne constituent pas un système

La représentation vectorielle des arcs formalisant le trafic routier permet ainsi de disposer d'une description « en couche » de son état et des diverses nuisances qu'il induit (d'où leur succès dans les applications SIG). Des représentation combinées qui respectent une description en attributs peuvent également être proposées (cf. figure ci-dessous qui combine, dans une carte sur les conséquences sur la santé, les nuisances sonores et les émissions en CO). Il ne faut pas pour autant considérer ces représentations comme des modélisations d'un système urbain intégré (ou comme une partie de l'écosystème urbain). En effet, dans ces cas, la représentation propose une compilation de thème sur un support combiné sans expliciter l'articulation entre les thèmes.

Dans ces représentations partielles, malgré la diversité des thèmes environnementaux traités, on ne construit pas une représentation fidèle de l'écosystème mais simplement une image de ses diverses composantes. La dynamique induite par l'évolution du système, qui permettrait de qualifier la « durabilité » du développement en introduisant la durée, n'est en effet nullement examinée.

¹² Le CERTU conseille d'ailleurs cette méthode uniquement en première estimation.



Représentation synthétique des nuisances actuelles et prévues induites par le trafic routier à Compiègne.

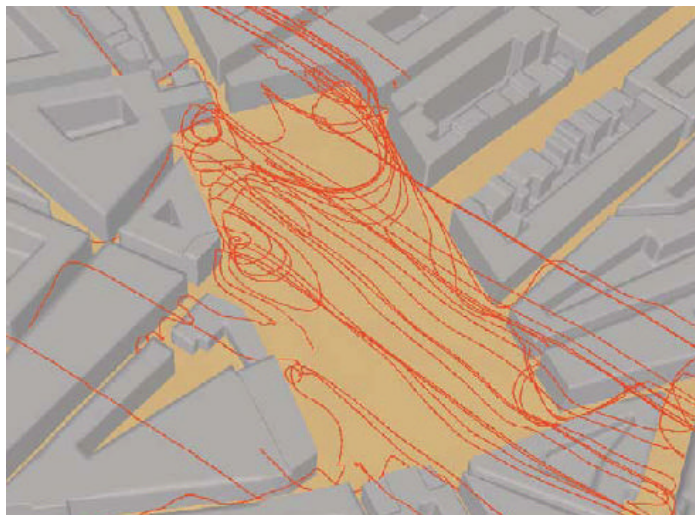
Source, AP41 Le pont du port à bateaux, étude d'impact et aménagement, sous la direction de M. Maïzia, T. Mangone, GSU-UTC, 2002.

La biosphère est aussi un fluide supportant le produit d'autres flux

D'autres modèles dynamiques peuvent compléter ces études fortement formalisées. Ils concernent la dynamique de fluides constituant de l'environnement (en général, les vents). Ces modèles dits de types CFD¹³, sont généralement élaborés par des laboratoires de climatologie ou de physique. Ils discrétisent l'espace aérien en cellules dont les états décrivent les conditions aérauliques du milieu (vitesse et direction du vent, concentration de polluant). L'intégration des différents types d'états ponctuels permet de retracer des phénomènes dynamiques comme la dispersion et la diffusion¹⁴

¹³ Computational Fluid Dynamic.

¹⁴ Les logiciels associés à ces modèles utilisent tous des formalisations de trois types : les modèles gaussiens utilisés par les logiciels D&F Impact de Siratech, fluidyn-PANACHE et par ARIA Impact d'ARIA Technologie, les modèles euréliens utilisés par D&F Impact de Siratech, fluidyn-PANACHE, MERCURE, AZUR et ARIA Local d'ARIA Technologie et les modèles lagrangiens utilisés dans les logiciels fluidyn-PANACHE et RADM.



Suivi de particule dans une étude aérodynamique de la place St Jaures à Marseille.

Source Eric Deboulbé -Jacques Marcillat, « Simulations numériques des écoulements se développant au niveau du quartier Chave à Marseille et du quartier du Capitole à Toulouse, OPTIFLOW –IRPHE, rapport N°4 Sagacités, contrat de recherche ACIV, 2002.

Conclusion

On le voit bien ici, les obstacles méthodologiques rencontrés dans le champ de la formalisation (et qui apparaissent de manière plus flagrante vu la rigidité du langage employé) ne peuvent être franchis en l'absence de consensus sur la définition de la durabilité (définition essentiellement d'ordre idéologique). Seule la formalisation fine mais raisonnable de l'ensemble de l'écosystème urbain peut mettre en évidence la multitude d'articulations entre les systèmes sectoriels et découler sur une appréhension globalisante. Les connections entre les différents thèmes abordés dans ce que l'on a choisi de baptiser l'écosystémique urbaine ne se font pas aisément. Il est actuellement impossible de proposer un modèle de système urbain intégré qui reconstituerait l'ensemble des articulations existant entre toutes les phénoménologies concernant l'environnement et entre toutes les caractéristiques physiques et socio-économiques de l'urbain. Or, la demande en matière de recherche sur le développement durable accélère ce processus d'intégration au risque d'employer des méthodes scientifiquement discutables (comme les méthodes multicritères trop rapides). La réalisation de tableaux de bord pluridisciplinaire permettant de visualiser les performances environnementales d'un espace urbain reste discutables lorsqu'aucune vérification sur les corrélations pouvant exister entre thèmes n'est réalisée. En effet, comment peut-on être sûr des valeurs obtenues pour deux ou plusieurs critères lorsqu'aucune vérification sur l'indépendance des variables, comme c'est la plupart du temps le cas, n'a été réalisée (et si les valeurs prises étaient partiellement contradictoires) ?

Le rapprochement des diverses disciplines concernées par la formalisation du système urbain et de son environnement ne peut ainsi faire l'économie, à coup de raccourcis provoqués par l'urgence, d'un examen fin sur les articulations entre sous-systèmes. L'écosystème urbaine, comme l'objet qui la préoccupe, doit ainsi placer son développement dans la durée pour, tout au moins, garantir sa durabilité. Pour le moment, elle est tributaire des visions de chaque chercheur ou, dans le cas des études appliquées à des cas opérationnels, de chaque acteur politique.

BREHENY M. J. *Sustainable development and urban form* Pion Limited, 1992, 292 p.

CERMA, Actes du colloque : Conception des formes urbaines et contrôle énergétique, Nantes, 24-25 avril 1986. Nantes : CERMA, 1986, 274 p.

DIOS ORTUZAR J. DE, WILLUMSEN L. G., *Modeling transport*, John Wiley et Sons, 1991. et Gazis D. C. Ed., *Traffic science*, John Wiley et Sons, 1974.

DUHEM B. et al. (éds.) *Villes et transports*. Actes du séminaire Tome 2, Plan urbain - Direction de l'architecture et de l'urbanisme. 277-281.

ESCOURROU G., ROUSSEL I., *Climat et microclimat urbain, pollutions atmosphériques et nuisances météorologiques localisées*, 1995, IAURIF, Paris, 168 p.

FERRANTE A., M. SANTAMOURIS, I. KORANAKI, G. MIHALAKAKOU, N. PAPANIKOLAU. *The design parameters' contribution to improve urban microclimate : An extensive analysis within the frame of polis research project in Athens*. Epic '98, pp 757-762.

JAUREQUI, E., *Bibliography of Urban climatology for the period 1992-1995*, World Meteorological Organisation W. M. O. /T. D. N ° 759, 1996, Geneva.

KLOSTERMAN R. E., "Large-scale urban models: retrospect and prospect", *Journal of the American Planning Association*, 60(1):3-6, 1994.

MILLER CHAGAS P. PAUL P., *Configurations Urbaines : Apport Énergétique et Microclimat Étude des Espaces Extérieurs de Trois Ensembles à Strasbourg*, Rapport de Recherche n°78/61/015 Plan de Construction ARIAS, Palais du Rhin, Strasbourg, Juillet 1980 182 p.

OKE, T., *Bibliography of urban climatology 1981- 1988*, World Meteorological Organisation W. M. O. /T. D. N ° 397, Geneva, 1990.

PENEAU J. -P. , « Morphologie urbaine et climat urbain » in : *Journée du CUEPE 1995 Énergie et climat urbain*, Genève, pp. 19-29.

SACRE C., "D'une typologie des espaces extérieurs à leur caractérisation thermique expérimentale", CSTB Nantes, In : *Actes du colloque "Conception des formes urbaines*

et contrôle énergétique", Nantes, 24-25 Avril 1986, pp.108 122.

SAYER R. A., "Understanding urban models versus understanding cities", *Environment and Planning A*, 11 : 853-862 1979, cité in Torrens P. M., How Land-use-transportation models works, Working paper series, Centre for advanced spatial analysis, paper 20, Avr. Nov. 2000.

ZAHAVI Y.ET TALVITIE A. (1980) "Regularities in Travel Time and Money Expenditure", in : *Transportation Research Record*,75 0,13-19.