

ANNEXES

'Effets sur l'accessibilité'
dans *Méthodes d'Evaluation des Investissements Routiers en Rase Campagne*,
METL, Direction des Routes, Octobre 1998

'Les indicateurs d'accessibilité dans les études urbaines : de la théorie à la pratique'
dans *Revue Générale des Routes et Aérodrômes*, pp. 5-23, 1975

'Urbanisme et transport : les critères d'accessibilité et de développement urbain'
dans *Annexes* pp. 45-55, Ministère de l'Équipement, Setra, Division Urbaine, 1975 ?

Ouvrages disponibles au CDAT (Ses)

ANNEXE 13

EFFETS SUR L'ACCESSIBILITE

I - PRINCIPES GENERAUX.

L'accessibilité peut être définie comme étant la quantité de biens, de services, d'emplois, ou encore le volume de population qu'un individu peut joindre à partir d'un point donné, compte tenu du niveau d'offre d'infrastructures routières, de son comportement de déplacement et de l'attractivité des destinations possibles. Les opportunités qu'offre le territoire ne prennent de sens qu'à travers les conditions de transport qui permettent d'y accéder, et inversement les conditions de transport offertes par le réseau n'ont d'intérêt qu'en fonction des destinations desservies. L'indicateur d'accessibilité doit en définitive traduire cette double notion, sa formalisation résultant de l'interprétation des comportements de mobilité observés.

Pour un type de déplacement donné (tourisme, professionnel, personnel), on connaît les dispositions des individus à emprunter le réseau routier. En effet, les enquêtes montrent que, pour une même destination, le volume des déplacements décroît lorsque le coût de transport ou le temps de parcours augmente. Ce comportement traduit le fait que l'utilité des déplacements décroît avec le coût de transport.

Mais, si les individus se déplacent c'est pour satisfaire des besoins (consommer, étudier, travailler, se divertir....) qu'ils trouveront dans la destination recherchée. La satisfaction de l'individu sera d'autant plus élevée que l'offre de biens ou de services y sera importante car la probabilité d'y trouver le produit recherché y est plus élevée. Cependant, toute augmentation du coût ou du temps de transport pour se rendre à cette destination diminuera son attractivité et donc l'utilité du déplacement. Il y a donc un effet de l'éloignement sur le niveau d'utilité. Chaque destination est donc affectée par un coefficient d'éloignement (facteur d'atténuation de l'utilité du déplacement) qui se déduit de la fonction de demande de transport.

A partir d'un point de référence i, l'accessibilité vers une destination j peut être évaluée par :

$$Q_j \times e^{-\alpha_{ij}}$$

Q_j : quantité de biens ou services présents dans la destination j

$e^{-\alpha_{ij}}$: coefficient d'éloignement

t_{ij} : temps de parcours entre i et j

On détermine ensuite l'accessibilité d'une zone i vers toutes les zones de destinations possibles selon la formule suivante :

$$A_i = \sum_j Q_j \cdot e^{-\alpha_{ij}}$$

L'amélioration du réseau routier aura pour effet de faire varier t_{ij} . On pourra donc en déduire une variation de A_i , toutes choses égales par ailleurs.

2 - CHAMP D'APPLICATION.

L'accessibilité d'une zone de référence sera évaluée par rapport aux emplois qui peuvent être joints compte tenu d'une fonction de comportement pour un déplacement de type professionnel.

D'un point de vue économique, l'accessibilité aux zones d'emploi, mesurée à partir de leur nombre d'emplois, s'interprète comme l'aire de marché potentiel pour une entreprise située dans une zone de référence donnée.

Les valeurs de la formule seront les suivantes :

Q_j : nombre d'emplois total de la zone j

t_{ij} : temps de parcours en heures entre i et j

α : 0,47

$$\text{soit : } A_i = \sum_j Q_j \cdot e^{-0,47 t_{ij}}$$

L'indicateur peut être utilisé pour comparer des grandes variantes de tracé d'un scénario d'aménagement ou des scénarios d'aménagement indépendants. Le calcul sera fait en situation de référence et avec le scénario d'aménagement et on calculera la variation d'accessibilité entre les deux situations.

On limitera l'application de cet indicateur aux études amont de niveau schéma directeur et aux études préliminaires d'A.P.S. et d'A.P.S.I. 1^{ère} phase. A ces niveaux d'étude, cet indicateur peut fournir un éclairage sur la prise en compte d'objectifs d'aménagement du territoire.

3 - MISE EN ŒUVRE PRATIQUE.

La mise en œuvre de cette méthode suppose dans un premier temps d'avoir un réseau routier numérisé, décomposé en arcs pour lesquels on dispose des caractéristiques techniques (longueur, profil en travers et éventuellement rampe, sinuosité) et du type de voies (autoroutes, routes à 2 x 2 voies ou à 2 x 3 voies, autres routes nationales, principales routes départementales, traversées d'agglomération, ouvrages spécifiques à péage (ponts, tunnels)). A chaque arc est associé un temps de parcours. Par défaut, on peut retenir les valeurs suivantes, à titre indicatif :

- autoroutes : 115 km/h
- routes nationales à 2 x 2 voies ou 2 x 3 voies : 100 km/h
- autres routes nationales : 80 km/h
- routes départementales : 60 km/h ; si les caractéristiques le justifient, on pourra prendre la vitesse des autres routes nationales
- traversées d'agglomération et ouvrages spécifiques à péage : 40 km/h
- à Paris et dans la petite couronne, les vitesses seront réduites de 30 % par rapport aux vitesses ci-dessus.

Dans un second temps, le territoire est découpé en zones. Un zonage intéressant pour ce type d'études est celui basé sur les 341 zones d'emplois qui couvrent la totalité du territoire métropolitain. A chaque zone est associé le nombre d'emplois total et chaque centroïde de zone d'emplois (centre de gravité de la zone) est relié au noeud le plus proche du réseau modélisé.

Enfin, on procède au calcul du temps de parcours entre la zone de référence et chaque zone d'emplois. Pour ce faire, on peut utiliser des logiciels de modélisation du trafic disponibles dans le commerce. On cherche d'abord les itinéraires les plus courts en temps de parcours entre la zone origine et les zones destination. On obtient alors une matrice de temps de parcours de dimensions 341 x 341 entre zones d'emplois. La suite n'est que du calcul matriciel qui permet d'obtenir le vecteur accessibilité (341 valeurs) pour un réseau de référence à partir de la matrice des temps de parcours et du nombre d'emplois de chaque zone (vecteur poids économique). On refait la même démarche pour tester un nouveau projet par rapport à la référence.

Les résultats sont récapitulés sous la forme d'un tableau et d'une carte visualisant pour chacune des zones:

Zones	Accessibilité avant aménagement (nombre d'emplois pondérés)	Accessibilité après aménagement (nombre d'emplois pondérés)	Gains d'accessibilité (nombre d'emplois pondérés)
1			
2			
.			
.			
n			
ensemble des zones			

Les indicateurs d'accessibilité dans les études urbaines :

de la théorie à la pratique

Préface

par Jean-Louis DELIGNY,
Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Chef du Centre d'Études des Transports Urbains (CETUR)

La notion d'accessibilité urbaine n'est pas nouvelle : elle caractérise les possibilités offertes au citoyen par la ville et son réseau de transports pour y exercer ses activités, assurer les contacts avec ses concitoyens, utiliser les services dont il a besoin, etc. : c'est donc, avant tout, un critère d'aménagement.

Plus récemment, cette notion a été introduite en France, notamment grâce aux travaux de l'auteur de cet article, pour pallier les insuffisances de la notion de « surplus économique de l'usager », utilisée dans les critères de choix d'investissements routiers en rase campagne, mais inopérante en milieu urbain en raison de la difficulté à prédire le comportement réel du citoyen.

La portée pratique du critère d'accessibilité a été mise en lumière lors de l'élaboration des dossiers d'agglomération pour la préparation du 7^e plan « Transports urbains ».

Il s'agit surtout d'un outil puissant qui permet de traduire avec précision deux idées tout-à-fait fondamentales dans les conceptions actuelles de l'organisation des transports urbains :

- par sa forme même, l'indicateur d'accessibilité marque le lien indissociable entre les caractéristiques de l'urbanisation et celles du réseau de transport ;

- par son aptitude à des approches désagrégées, il permet d'analyser les conséquences d'une action pour différentes catégories d'usagers (distinguées par l'âge, l'appartenance socio-professionnelle, etc.), affinant ainsi une réflexion trop souvent limitée dans les études traditionnelles.

Bien entendu, il ne s'agit pas de juger de l'opportunité d'un projet ou de guider le choix entre plusieurs variantes à l'aide de ce seul critère : tout ce qui touche au domaine urbain est, par essence, complexe et présente des aspects très divers, non seulement techniques mais aussi financiers, politiques, sociaux, humains... Rappelons seulement qu'en 1973, les ministères de l'Équipement, des Transports et de l'Intérieur avaient jugé nécessaire de définir conjointement, à l'intention des services locaux, un cadre méthodologique pour les études d'infrastructures de transport en milieu urbain, basé sur une analyse multicritère (cinq critères principaux : dépenses publiques, services rendus aux usagers, cadre de vie des habitants, implications futures et externes, conséquences sur le développement urbain).

Enfin, ces indicateurs ne doivent pas être utilisés sans précaution, et plus que jamais, il faut être nuancé dans les appréciations qu'on peut être amené à porter au vu des résultats bruts. Leur effet « intégrateur » peut, en effet, masquer de profondes évolutions : ainsi, l'armature commerciale de voisinage dans les faubourgs des villes peut disparaître au profit de l'hypercentre ou de grands équipements périphériques sous l'effet de l'amélioration des conditions de déplacement (prolongement d'une ligne de transport collectif, création d'une voie rapide urbaine...). Mais ce transfert ne se traduira pas forcément par une forte variation de l'indicateur d'accessibilité, et pourtant il s'agit d'un phénomène majeur dont les implications sur la vie urbaine doivent être pesées avec soin.

Le concept d'accessibilité, développé par l'ancienne Division urbaine du SETRA sous l'impulsion de Jean Poulit et de Gérard Koenig, est désormais repris par le département des Études générales du CETUR, (sous la direction de Jean-Pierre Trotignon), qui s'apprete à publier un Guide pratique sur le calcul et l'usage de cet indicateur pour en favoriser l'utilisation.

<p>1. Introduction</p> <p>2. Développement des indicateurs d'accessibilité</p> <p>3. Les bases théoriques</p> <p>3.1. Le problème de l'évaluation économique</p> <p>3.2. L'approche intuitive</p> <p>3.3. L'approche des modèles de comportement individuel</p> <p>3.4. L'approche de la théorie du surplus économique</p> <p>4. Calcul pratique des indicateurs d'accessibilité</p> <p>4.1. Les divers types d'indicateurs d'accessibilité</p> <p>4.2. Choix entre les différents indicateurs.</p>	<p>5. Évaluation du service rendu : exemples</p> <p>5.1. Temps de transport, accessibilité et service rendu</p> <p>5.2. Exemples d'utilisation des indicateurs d'accessibilité</p> <p>6. Accessibilité, mobilité, urbanisation</p> <p>6.1. Accessibilité et mobilité</p> <p>6.2. Accessibilité et urbanisation</p> <p>7. Conclusion</p> <p>Annexe : modalités pratiques de calcul des indicateurs d'accessibilité.</p> <p>Bibliographie</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1. Introduction

Les indicateurs d'accessibilité apparaissent de plus en plus comme un outil d'analyse fondamental dans les études d'aménagement urbain en général, et de transport urbain en particulier.

Diverses recherches convergentes, tant théoriques qu'expérimentales, conduisent en effet à penser qu'ils rendent mieux compte du service rendu aux citoyens dans leurs déplacements que les indicateurs classiques de temps ou de vitesse.

Encore peu répandus il y a quelques années en dehors du cercle étroit des chercheurs, ils ont depuis vu leur diffusion s'étendre progressivement et commencent maintenant à être introduits dans la pratique courante des études de transport.

Cette tendance récente, observée en France comme dans d'autres pays occidentaux, conduit naturellement l'ensemble des utilisateurs potentiels à s'interroger sur l'intérêt réel de cette nouvelle technique : représente-t-elle autre chose qu'un simple gadget à la mode ? Peut-elle être considérée comme opérationnelle ? A quoi et comment l'utiliser ?

Un précédent article, paru en juin 1974 dans cette Revue ^{*}, a déjà présenté une justification théorique et les applications possibles de ces indicateurs ; le présent article a pour objet de tenter une synthèse tenant compte de l'expérience et des connaissances acquises depuis lors, malgré la difficulté particulière d'une telle entreprise dans un domaine en pleine évolution.

Il rappelle d'abord brièvement le développement historique et les fondements théoriques des indicateurs d'accessibilité. Il décrit ensuite les modalités pratiques de calcul et d'utilisation que l'on peut actuellement proposer et présente divers exemples d'application à l'étude du service rendu, en fonction de l'offre de transport, à différents groupes de population. Enfin, il examine quelques recherches françaises récentes concernant les relations entre accessibilité et mobilité, ou entre accessibilité et urbanisation.

Les numéros entre crochets dans le texte renvoient à la bibliographie.

2. Développement des indicateurs d'accessibilité

Les indicateurs d'accessibilité visent à évaluer le niveau de satisfaction que divers citoyens peuvent retirer de leurs déplacements urbains, face aux besoins qui motivent ces déplacements. Leur caractéristique commune fondamentale est d'associer pour cela des variables de structure urbaine (décrivant les opportunités proposées par la ville face à un besoin donné) et des variables de temps ou de coût de transport (décrivant les conditions d'accès à ces opportunités pour les citoyens considérés).

^{*} RGRA 239. Des hommes, des villes, des transports : la théorie de l'accessibilité urbaine, un nouvel outil au service de l'aménageur, par G. Koenig, Ingénieur des P. et C., Division urbaine du SETRA. Revue générale des Routes et des Aéroports, n° 499, juin 1974, p. 67.

Cette notion d'accessibilité et les indicateurs qui lui sont associés ne constituent nullement une nouveauté. Il y a en effet au moins une quinzaine d'années que les premières définitions et formulations mathématiques en ont été données par Hansen en 1959 [1]. Ces indicateurs avaient alors été introduits pour des recherches qui concernaient davantage l'urbanisme en général (rente foncière, localisation des nouveaux habitants ou des activités nouvelles) que les transports urbains en particulier.

Cependant, dès cette époque, certains auteurs y avaient vu aussi l'instrument conceptuel le plus apte à représenter quantitativement le niveau de service offert par un réseau de transport urbain. Ainsi commencèrent-ils, dès les années 60, à être proposés pour concevoir et comparer divers systèmes de transport. Même si leur formulation était encore rudimentaire, ces indicateurs étaient déjà largement conformes à la notion actuelle et restrictive de l'accessibilité, c'est-à-dire qu'ils dénombreaient des opportunités offertes par la ville en les tempérant par un facteur représentatif de la proximité. Ainsi les indicateurs gravitaires étaient-ils utilisés par Graves dès 1965 [2], et les indicateurs isochrones pour l'étude du métro de Washington.

Pourtant, l'emploi d'indicateurs d'accessibilité au sens strict restait alors peu répandu ; de fait, la plupart des études de transport utilisaient des indicateurs beaucoup plus traditionnels pour caractériser le niveau de service. Ainsi ceux que proposait Buchanan [3] en 1963 dans son célèbre rapport sont plutôt des indicateurs de saturation. Ceux de Savigear [4] en 1967 sont en fait des indicateurs de temps ou de coût moyen des déplacements ; ce sont d'ailleurs eux qui étaient et sont encore les plus utilisés, malgré les risques d'incohérence sur lesquels nous reviendrons plus loin et qui étaient encore mal perçus à l'époque.

Comme le note Hutchinson [5] en 1972, les partisans des indicateurs d'accessibilité au sens strict (gravitaires ou isochrones) ne disposaient guère alors d'argument suffisant pour étayer leur préférence. C'est seulement au cours des dernières années que divers travaux théoriques ont été consacrés au problème de l'appréciation du service rendu aux usagers des transports urbains. Toutes ces recherches ont conclu à la représentativité des indicateurs d'accessibilité, qu'elles aient été menées à partir d'une analyse du comportement de l'individu dans ses déplacements [6] ou de la théorie classique du surplus économique, ou encore de l'interprétation des modèles gravitaires [7].

Parallèlement, les faiblesses et même les incohérences des indicateurs classiques de temps ou de coût généralisé des déplacements étaient mises en évidence [8] [6].

En France, c'est essentiellement à partir de 1972 que ces recherches furent entreprises, à l'occasion de l'élaboration au niveau national de la méthodologie des études de transport urbain. Elles permirent aux groupes de travail centraux qui traitaient des études à long terme et des critères de choix de mettre en lumière l'intérêt des indicateurs d'accessibilité et d'en recommander l'utilisation dans la pratique [9] [7].

En 1974 et 1975, les équipes d'étude chargées de la programmation des transports urbains pour le VII^e Plan quinquennal eurent donc l'occasion de mettre effectivement en œuvre ces indicateurs d'accessibilité, au moins dans les grandes villes. L'expérience ainsi acquise et diverses recherches poursuivies depuis lors ont permis de préciser et d'améliorer cette technique ; ainsi par exemple peut-on maintenant proposer un calcul d'accessibilité par catégorie de personnes [10], qui rend mieux compte de la situation réelle des citoyens que le calcul par mode de transport utilisé jusqu'alors.

Enfin, il convient de signaler que les indicateurs d'accessibilité se sont progressivement imposés non seulement pour évaluer des réseaux de

transport mais aussi pour analyser et prévoir le comportement des citadins. Des recherches récentes ont mis en évidence leurs liens étroits avec la mobilité des personnes [11], le choix des destinations [6] et la motorisation [12], les liens avec l'urbanisation ayant été, quant à eux, pressentis dès l'origine [1].

3. Les bases théoriques des indicateurs d'accessibilité

3.1. Le problème de l'évaluation économique

Le problème envisagé ici est celui de l'appréciation du service offert aux citadins par un système de transport urbain ; il s'agit le plus souvent de comparer plusieurs situations qui peuvent différer par l'offre de transport, l'urbanisation ou le groupe social considéré.

Naturellement, bien d'autres critères que le service rendu interviennent dans la planification des transports urbains [13] : coûts, effets sur l'environnement, autres effets indirects. Sans nullement méconnaître leur importance, nous ne les développerons pas ici.

Dans la plupart des études de transport, on a pris l'habitude d'évaluer le service rendu à l'aide d'indicateurs tels que :

- temps ou coût généralisé moyen d'un déplacement ;
- temps ou coût généralisé total des déplacements ;
- vitesse moyenne des déplacements.

Ces indicateurs permettent valablement de comparer deux variantes de transport lorsque le choix des destinations par les usagers (c'est-à-dire la matrice origine-destination) est identique dans les deux situations.

Mais si cette condition n'est pas remplie, et elle l'est rarement, on ne peut plus affirmer qu'ils reflètent correctement les variations de service rendu. Plusieurs auteurs [6] [8] ont déjà signalé la gravité des risques d'incohérence que l'on rencontre alors ; quelques exemples en seront donnés plus loin. Le problème peut être illustré par la constatation, maintes fois effectuée, qu'une amélioration de l'offre de transport ne se traduit pas forcément par une baisse des temps de déplacement.

Comme cela a déjà été exposé dans cette Revue [6] l'échec des indicateurs de temps de transport provient de ce qu'ils ne reflètent qu'une des composantes de la satisfaction qu'un citadin peut retirer de ses déplacements ; il faut en effet tenir compte aussi de l'intérêt présenté par les destinations atteintes, c'est-à-dire du niveau de satisfaction qu'elles procurent vis-à-vis du besoin qui motive le déplacement. Or, ce niveau moyen de satisfaction peut varier sensiblement d'une variante de transport à l'autre, dans le cas notamment où une amélioration des transports élargirait fortement l'éventail des destinations offertes.

Il faut donc tenir compte simultanément de ces deux composantes indissociables de tout déplacement urbain que sont l'intérêt présenté par la destination et la gêne qu'implique le transport. Il est remarquable de constater que trois approches au moins aboutissent à proposer un même moyen pour cela : l'utilisation, précisément, d'indicateurs d'accessibilité.

Ces différentes approches ne seront que brièvement rappelées ici ; on en trouvera une description plus détaillée dans les documents cités en référence.

3.2. L'approche intuitive

Pour caractériser le niveau de satisfaction de l'usager face à un besoin donné, un indicateur particulièrement intéressant semble être la variété du choix ou le nombre de destinations qu'offre la ville pour satisfaire ce besoin.

Exemples : le nombre d'emplois offerts reflète la probabilité qu'a un citadin de trouver un emploi intéressant et bien rémunéré ; le nombre de cinémas reflète la probabilité de trouver, le jour où on le souhaite, un film conforme à ses goûts.

Dans ce décompte du nombre de destinations intéressantes, il est naturel de faire intervenir le temps de transport. On pourra ainsi compter pour 1 une destination possible à temps de transport nul, et pour 0 une destination très lointaine. Une destination à temps d'accès moyen comptera pour une valeur intermédiaire entre 0 et 1 (par exemple : 0,5 à 5 mn, 0,25 à 10 mn, etc.).

Face à un besoin donné (recherche d'un lieu de travail, d'achat, de loisirs...) l'indicateur d'accessibilité qui résulte de ce raisonnement peut donc s'écrire, pour un résident de la zone i :

$$A_i = \sum_j D_j k_{ij} \quad (1)$$

- D_j est le nombre de destinations situées dans la zone j susceptibles de satisfaire le besoin considéré. Ce sera par exemple le nombre d'emplois, ou d'emplois tertiaires, ou de cinémas, etc.

- k_{ij} est un coefficient fonction du temps ou du coût généralisé de transport c_{ij} entre i et j pour l'usager considéré. On prend en général une fonction exponentielle, de la forme :

$$k_{ij} = e^{-\frac{c_{ij}}{x_0}} \quad (2)$$

En effet, une telle fonction répond bien aux spécifications subjectives que nous avons définies (décroissante, nulle pour c_{ij} infini, égale à 1 pour c_{ij} nul). C'est d'ailleurs précisément celle qui résulte des approches théoriques présentées ci-après.*

On voit le progrès apporté par l'indicateur d'accessibilité A_i ainsi défini par rapport aux indicateurs classiques de temps de transport : il reflète non seulement les conditions de transport (c_{ij}), mais aussi la richesse du choix offert par les structures urbaines (D_j).

Il est d'ailleurs clair que ces deux notions doivent être associées, pour prendre leur pleine signification : les opportunités qu'offre la ville ne prennent de sens qu'à travers les conditions de transport qui permettent d'y accéder, et inversement les conditions de transport offertes par un réseau n'ont d'intérêt qu'en fonction des destinations desservies.

3.3. L'approche des modèles de comportement individuel

Il est possible de donner à cet indicateur d'accessibilité, obtenu ici intuitivement, une base théorique. La théorie de l'accessibilité urbaine [6], développée à cet effet, part de deux hypothèses :

a. comportement de l'usager

Pour chaque destination possible dont il a connaissance, l'usager cherche à apprécier :

- l'utilité brute (intérêt que présente cette destination face au besoin qui motive le déplacement) ;
- la gêne due au transport (coût généralisé par exemple, ou temps) ;
- l'utilité nette qui est la différence des deux termes.

Il choisit ensuite la destination offrant la meilleure utilité nette.

b. distribution probabiliste de l'utilité brute

Cette hypothèse décrit la probabilité qu'a une destination prise au hasard d'offrir une utilité brute nulle ou faible, moyenne, forte... En fait, cette hypothèse ne doit être explicitée que pour les hauts niveaux d'utilité, où l'analyse des enquêtes de trafic conduit à donner à cette loi de probabilité une forme exponentielle négative : plus on veut une utilité brute élevée, plus la probabilité de l'obtenir dans une destination prise au hasard est faible.

Ces deux hypothèses conduisent directement à deux résultats essentiels :

* D'autres fonctions de conductance que l'exponentielle négative ont parfois été proposées (notamment des fonctions puissance). Cependant, les analyses effectuées sur les enquêtes de circulation auprès des ménages montrent que les meilleures fonctions de distribution du trafic sont pratiquement toujours des exponentielles. Dans ce cas, les considérations théoriques qui justifient les indicateurs d'accessibilité (théorie de l'accessibilité, théorie du surplus, analogie avec les modèles gravitaires) montrent que c'est aussi avec une exponentielle que ces indicateurs doivent être calculés.

a. l'utilité nette moyenne U_i que peut retirer d'un déplacement un résident de la zone i peut s'écrire, évaluée en termes économiques :

$$U_i = x_0 \text{Log} \frac{A_i}{A_0} \quad (3)$$

Dans cette formule :

- x_0 est un coefficient dépendant a priori de la catégorie de personnes et du type de destinations envisagées ;

- A_i est l'indicateur d'accessibilité de la formule (1), et s'écrit (avec les mêmes notations) :

$$A_i = \sum_j D_{ij} e^{-\frac{c_{ij}}{x_0}} \quad (4)$$

- A_0 est la valeur de l'indicateur d'accessibilité qui caractérise par convention le niveau « zéro » de l'utilité.

On trouve donc finalement que l'utilité U_i est une fonction croissante de l'indicateur d'accessibilité A_i déjà obtenu par l'approche intuitive.

Cela confirme la validité de cet indicateur A_i pour caractériser la satisfaction procurée par les déplacements urbains.

b. les usagers se répartissent entre les destinations possibles conformément aux modèles gravitaires classiques de distribution du trafic. Ces modèles, dont la validité est largement confirmée par les enquêtes, reçoivent ainsi une nouvelle justification théorique. On trouve d'ailleurs que la fonction de distribution gravitaire est précisément celle de la formule (2), ce qui permet de caler le paramètre x_0 à partir d'enquêtes.

3.4. L'approche de la théorie du surplus économique

Il est à noter que la formule concernant l'utilité (indicateur U_i) qui a été obtenue ici par une approche micro-économique, peut également être obtenue par la théorie classique du surplus économique. La distribution gravitaire des déplacements est dans ce cas une des hypothèses à introduire, et non un sous-produit du modèle.

La théorie du surplus économique, largement appliquée en rase campagne, n'avait guère jusqu'à présent été transposée en milieu urbain. Elle suppose, en effet, que l'on dispose d'un bon modèle des variations de trafic sur chaque liaison en cas de variation des temps de transport ; il faut pour cela tenir compte des transferts de mode et des transferts de destination, ainsi que du trafic induit. Le problème le plus difficile, celui des transferts de destination, a été traité par Neuberger [8] en supposant que la répartition statistique entre les destinations est décrite correctement par les modèles gravitaires classiques. Cependant, la formule finale obtenue à l'époque était d'apparence relativement complexe, et ne permettait guère d'envisager des applications concrètes. Or, il apparaît maintenant que le calcul entrepris par Neuberger permet d'établir le résultat fondamental suivant :

le surplus économique d'une variante par rapport à une autre est égal à la variation (agrégée sur les déplacements effectués par la population d'usagers considérée) de l'indicateur U_i précédemment défini.

Ainsi, parvient-on à deux conclusions importantes :

- la notion de surplus de l'usager, qui n'avait guère jusqu'à présent été concrétisée qu'en rase campagne, pourrait l'être aussi en milieu urbain ;

- elle se traduit directement, dans ce cas, par l'emploi d'indicateurs d'accessibilité, qui reçoit ainsi une justification théorique supplémentaire.

On peut rattacher à ce type de démarche divers raisonnements qui retrouvent les indicateurs d'accessibilité à partir d'une interprétation des modèles gravitaires, notamment dans les travaux de Poulit [7].

Bien qu'aboutissant à des conclusions compatibles, la démarche de la théorie du surplus paraît en définitive moins explicative que celle des modèles de comportement individuel. Elle calcule un indicateur économique unique agrégé sur toute une population, à partir des modèles gravitaires pris comme postulat statistique global ; la théorie de l'accessibilité montre au contraire que les indicateurs d'accessibilité (sous forme désagrégée) et les modèles gravitaires résultent d'une même explication logique du comportement individuel. Elle se prête donc mieux aux analyses désagrégées par catégorie de personnes, à la compréhension de ce que représente l'accessibilité pour le citoyen, et à l'interprétation des relations entre accessibilité et mobilité ou choix des destinations.

4. Formulation pratique des indicateurs d'accessibilité

4.1. Les divers types d'indicateurs d'accessibilité

Comme cela a déjà été indiqué, la caractéristique commune à tous les indicateurs d'accessibilité (au sens strict) est de faire intervenir un décompte des destinations offertes par la ville, en les tempérant par un facteur d'atténuation décroissant avec l'éloignement. On en trouve trois familles principales : accessibilité gravitaire, accessibilité isochrone, utilité.

4.1.1. Indicateurs d'accessibilité gravitaire (A_i)

Il s'agit des indicateurs donnés par la formule générale (1) ci-dessus. Les plus employés, et les plus conformes aux résultats des enquêtes, sont ceux qui comportent une fonction d'atténuation exponentielle ; on obtient alors la formule (4) que nous considérerons seule dans la suite.

Cependant, d'autres fonctions d'atténuation ont parfois été employées (en particulier, des fonctions puissance, dans les premiers indicateurs de Hansen par exemple).

4.1.2. Indicateurs d'accessibilité isochrone (N_i)

C'est le nombre de destinations du type considéré situées à l'intérieur d'un seuil d'éloignement donné (à moins de x minutes par exemple).

Cet indicateur N_i peut être considéré comme un indicateur A_i fortement simplifié : au lieu de pondérer le décompte des destinations par un facteur décroissant progressivement avec l'éloignement, il utilise un facteur de pondération qui passe brutalement de 1 (éloignement inférieur à la limite x) à 0 (éloignement supérieur à x).

4.1.3. Indicateurs d'utilité (U_i)

Ces indicateurs transcrivent en unités économiques les indicateurs d'accessibilité gravitaire ; ils sont définis par la formule (3) ci-dessus.

4.2. Choix entre les différents indicateurs

Pour comparer sur le plan économique des variantes de transport ou une situation actuelle et une situation future, l'indicateur le plus intéressant est évidemment U_i . Représenté par exemple sous forme de temps généralisé par déplacement, il met clairement en évidence (par différence entre les valeurs obtenues dans les situations que l'on compare) l'impact des décisions envisagées sur chaque groupe social et chaque zone de la ville ; il évite, comme nous le verrons, les graves erreurs d'appréciation que l'on risque en utilisant les indicateurs traditionnels de temps moyen. Cependant, cet indicateur, d'un abord assez « technocratique » ne se prête pas facilement à une présentation à des non-spécialistes ou des élus ; dans cette phase des études, les indicateurs A_i ou N_i semblent plus adaptés à un dialogue.

L'indicateur A_i par exemple peut s'interpréter de manière simple et intuitive comme la liberté de choix des personnes considérées dans la recherche d'une destination. Mathématiquement lié à l'indicateur U_i , il varie dans le même sens que ce dernier et conduit donc aux mêmes conclu-

sions ; mais il faut prendre garde au fait qu'il ne représente plus des unités économiques et n'est donc pas additif.*

En ce qui concerne l'indicateur isochrone N_i , les biais qu'il comporte du fait de son caractère discontinu ont déjà été signalés ; par exemple, un pôle contenant un grand nombre de destinations potentielles comptera intégralement s'il est juste en deçà du seuil d'éloignement envisagé, et pas du tout s'il est juste au-delà. En contrepartie, ils sont certainement les plus aptes au dialogue avec des non-spécialistes : une notion comme « n commerces à moins de x minutes » est clairement compréhensible par tous.

Dans la pratique, il reste naturellement à fixer les procédures pratiques de calcul de ces divers indicateurs : calage des paramètres, groupes sociaux à considérer... Tous ces aspects sont développés en annexe, y compris la méthode de calcul par catégorie de personnes qui paraît, dans un certain nombre de cas, devoir être substituée au calcul classique par mode de transport.

5. Évaluation du service rendu : exemples

Évaluer le niveau de service offert à un groupe de citoyens donné, par un système de transport donné, dans une structure urbaine donnée, est une des démarches fondamentales dans les études de transport urbain. Elle intervient, concurremment avec d'autres critères d'appréciation, chaque fois qu'il faut par exemple :

- détecter et quantifier les insuffisances de l'offre de transport existante ;
- identifier les groupes sociaux et les zones géographiques les plus défavorisés ;
- comparer diverses actions d'amélioration de l'offre sur le plan de l'efficacité économique pour les usagers, ou en fonction de leur impact sur la distribution sociale et spatiale du service rendu.

Jusqu'à présent, cette évaluation a le plus souvent été pratiquée en considérant les temps de transport, et en admettant implicitement le postulat suivant : plus le temps moyen des déplacements est faible pour les personnes considérées, plus le niveau de service est bon. Un précédent article de cette Revue [6] a déjà souligné les incohérences d'une telle méthode d'évaluation et a exposé les raisons qui conduisent à utiliser de préférence les indicateurs d'accessibilité.

Depuis lors, un certain nombre de cas concrets ont pu être effectivement traités à l'aide des indicateurs d'accessibilité, et ont permis de confirmer leur utilité pratique dans les divers problèmes d'évaluation. Avant de présenter quelques-unes de ces études de cas, et compte tenu de l'importance théorique et pratique de cette question, nous examinerons les indications qu'elles ont fournies sur les relations qui existent entre temps de transport, accessibilité et service rendu.

5.1. Temps de transport, accessibilité et service rendu

Nous nous proposons d'illustrer ici l'effet que des variations dans l'offre de transport peuvent entraîner sur l'accessibilité d'une part, et sur les temps de transport d'autre part.

* Si l'on compare deux variantes 1 et 2, une différence entre les U_i se traduit par un quotient des A_i , comme on le voit en écrivant :

$$U_i^1 - U_i^2 = x_0 \text{Log} \frac{A_i^1}{A_i^2}$$

Pour illustrer les différences entre deux variantes, il vaut donc mieux faire le rapport entre les A_i , et non la différence comme cela est parfois pratiqué.

De même, dans une représentation graphique de l'indicateur A_i , il convient de prendre une échelle exponentielle et non une échelle linéaire : une variation de 1 000 unités de A_i sera beaucoup plus ressentie par une personne disposant d'une mauvaise accessibilité (passant par exemple de 1 000 à 2 000) que par une personne bénéficiant d'une bonne accessibilité (passant par exemple de 10 000 à 11 000).

Tout d'abord, il existe quelques rares cas où les indicateurs de temps moyen de transport et les indicateurs d'accessibilité (ou plus précisément d'utilité) donnent des indications parfaitement concordantes.

Imaginons par exemple que, pour un groupe de citoyens résidant dans une zone donnée, tous les temps de transport vers les destinations possibles s'accroissent d'une même quantité Δt (par congestion du réseau par exemple). Dans ce cas :

- le temps moyen de déplacement pour les résidents s'accroît de Δt avec une distribution de trafic gravitaire (les citoyens n'ont aucune raison de changer de destination, toutes étant pénalisées de la même manière) ;
- l'indicateur d'utilité décroît de la même quantité Δt , comme on le vérifie facilement dans la formule (3).

Ceci tient au fait que, dans ce cas particulier, aucun usager n'a changé de destination ; l'indicateur d'utilité, qui tient compte à la fois des temps de transport et de l'intérêt présenté par les destinations atteintes, ne détecte donc pas d'autre variation que celle du temps de transport.

Dans le cas général, il n'en va pas de même. Des variations marquées dans l'offre de transport vont entraîner d'importantes variations dans le choix de leur destination par les usagers ; les conclusions suggérées par les indicateurs d'utilité et de temps moyen peuvent alors devenir très différentes, et même contradictoires.

Pour le praticien des études de transport, la question soulevée par cette constatation est double :

- observe-t-on effectivement, dans la pratique courante des études de transport et sur des cas réels, des écarts très importants entre les indications fournies par l'accessibilité d'une part, les temps de transport d'autre part ?
- s'il y a des écarts sensibles, peut-on vérifier par le simple bon sens que ce sont bien (comme le veut la théorie) les indicateurs d'accessibilité qu'il faut croire ?

Nous allons examiner quelques exemples concrets (cas réels ou cas simplifiés aussi proches que possible de cas réels) qui nous conduiront à proposer une réponse affirmative à ces deux questions. _

5.1.1. Exemple 1 : Création d'une liaison entre pôles urbains

Considérons par exemple des citoyens non motorisés, vivant dans deux agglomérations voisines à l'intérieur desquelles le temps de transport ne dépasse pas 20 mn.

Supposons que l'on crée une liaison par transport collectif, mettant les deux villes à 30 mn l'une de l'autre. Il est évident que certains déplacements vont désormais s'effectuer entre les deux villes, au lieu de rester à l'intérieur de chacune ; ils apparaîtront, par exemple, lorsqu'un des citoyens considérés trouvera dans l'autre ville une destination mieux appropriée à son besoin, malgré un temps de transport plus élevé, que dans sa ville de résidence.

A l'ouverture de la nouvelle liaison par transport collectif, on va donc constater simultanément :

- une hausse du temps moyen de transport, à laquelle devrait correspondre, si l'on voulait assimiler avantage économique et gain de temps, une dégradation du service rendu ;
- une hausse des indicateurs d'accessibilité, à la suite de la diminution du temps de transport entre les deux villes (qui passe d'une valeur infinie à 30 mn). Cette hausse indique, elle, une amélioration du service rendu.

Dans le cas présent, temps de transport et accessibilité rendent des verdicts tout à fait contradictoires ; il est clair que l'indication fournie par l'accessibilité est la plus conforme au bon sens.

5.1.2. Exemple 2 : Amélioration de l'offre sur un axe urbain (cas simplifié)

5.1.2.1. Présentation du cas et comparaison des indicateurs

Considérons, dans une agglomération composée d'un centre urbain et d'un pôle périphérique, un groupe de citoyens résidant dans le pôle périphérique et effectuant des déplacements pour achats.

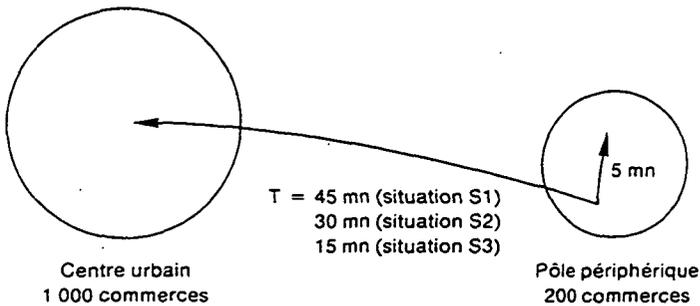
Les destinations potentielles sont les suivantes :

- a. dans le pôle périphérique lui-même, 200 commerces situés à 5 mn.
- b. dans le centre urbain, 1 000 commerces situés à un temps d'accès T variable avec l'offre de transport envisagée.

Ce temps T est supposé égal à :

- 45 mn dans une situation S1 d'offre de transport (situation de référence),
- 30 mn dans une situation S2 d'offre améliorée,
- 15 mn dans une situation S3 encore meilleure.

Avec les méthodes normalement employées et recommandées dans la pratique *, les temps moyens et les accessibilités sont alors les suivants :



pond à une amélioration, puisque le temps de parcours entre centre et pôle périphérique s'abaisse de 45 à 30 mn. Les indications du temps moyen, qui suggèrent une dégradation, sont donc a priori plus suspectes que celles de l'accessibilité, qui suggèrent bien une amélioration.

Une réponse quantitative plus précise peut être proposée en analysant l'usage que font les citadins d'un gain de temps résultant d'une amélioration des transports.

Comparons par exemple, pour les résidents du pôle périphérique, les situations S2 et S3 entre lesquelles le temps de parcours entre centre et périphérie s'abaisse de 30 à 15 mn :

- les 48 % de résidents qui allaient déjà au centre en S2 continuent naturellement à y aller, et profitent d'un gain de temps de 15 mn.

- les 52 % de résidents qui allaient en périphérie se partagent en :

- 28 % qui conservent leur ancienne destination en périphérie avec un temps de trajet inchangé, et qui ne tirent donc aucun bénéfice de l'amélioration des temps de transport.

- 24 % qui changent de destination et vont désormais se rendre au centre. Il est intuitivement évident que ce changement de comportement correspond à un gain (sinon il n'aurait pas eu lieu). Mais comment évaluer ce gain ?

Tableau 1 : Exemple de divergence entre évolution du temps moyen des déplacements et évolution de l'accessibilité en cas d'amélioration de l'offre.

Situation d'offre de transport	Temps T entre centre et périphérie (mn)	Déplacements des résidents du pôle périphérique				
		Déplacements vers		Temps moyen par déplacement (mn)	Accessibilité aux commerces	Utilité moyenne par déplacement (mn)
		le centre %	le pôle périphérique %			
S 1	45	26	74	15,4	194	0*
S 2	30	48	52	17	278	5,4
S 3	15	72	28	12,2	511	14,5

* Par convention, on a associé le niveau d'utilité « zéro » à un indicateur d'accessibilité aux commerces égal à 194, ce qui correspond précisément à la situation S1.

Ces résultats mettent en évidence, sur un cas simplifié proche de cas réels, l'ampleur des différences qui peuvent apparaître entre les indications fournies par les temps moyens d'une part, et les indications fournies par l'accessibilité d'autre part (ou plus précisément par l'utilité qui est la transcription, en termes de temps, de l'accessibilité).

Ainsi, lorsqu'on passe de S1 à S2, le temps moyen se dégrade de 1,6 mn alors que l'utilité s'accroît de 5,4 mn.

De même, lorsqu'on passe de S2 à S3, le temps moyen s'améliore de 4,8 mn alors que l'accessibilité s'accroît de 9,1 mn.

Laquelle de ces indications divergentes faut-il retenir pour apprécier l'évolution du service rendu ?

Une première réponse peut être apportée par une considération de simple bon sens : il est en effet évident que le passage de S1 à S2 corres-

pond à une amélioration, puisque le temps de parcours entre centre et pôle périphérique s'abaisse de 45 à 30 mn. Les indications du temps moyen, qui suggèrent une dégradation, sont donc a priori plus suspectes que celles de l'accessibilité, qui suggèrent bien une amélioration.

Il est en effet évident que ce gain est supérieur à zéro (sinon, le transfert n'aurait pas eu lieu) ; il est d'autre part inférieur aux 15 mn gagnées sur la liaison vers le centre, (sinon, la nouvelle destination dans le centre aurait dû, déjà avant amélioration de l'offre de transport, être préférée à l'ancienne en périphérie).

Le gain économique moyen par déplacement est donc compris entre deux limites :

- la limite inférieure, obtenue en appliquant le gain de temps de 15 mn aux 48 % de déplacements qui se rendaient déjà au centre avant amélioration de l'offre de transport sur cet axe ; elle est ici de 7,2 mn.

- la limite supérieure, obtenue en appliquant le même gain de 15 mn aux 72 % de déplacements qui se rendent au centre après amélioration ; elle est égale ici à 10,8 mn.

On constate que le gain d'utilité calculé entre les deux situations S2 et S3, soit 9,1 mn, est bien compris entre ces deux limites issues d'un simple raisonnement de bon sens. Le gain de temps moyen par contre, égal dans cet exemple à 4,8 mn, ne vérifie pas cette contrainte et donne donc une idée tout à fait fautive du bénéfice apporté par l'amélioration de l'offre de transport envisagée ici. Là encore, l'avantage des indicateurs liés à la notion d'accessibilité est manifeste.

* Pour évaluer les proportions P_c et P_p des résidents du pôle périphérique qui se rendent respectivement au centre et dans le pôle périphérique, on utilise un modèle gravitaire classique qui, compte tenu des données numériques, s'écrit :

$$P_c = \frac{1000 e^{-\alpha T}}{1000 e^{-\alpha T} + 200 e^{-\alpha 5}} ; P_p = \frac{200 e^{-\alpha 5}}{1000 e^{-\alpha T} + 200 e^{-\alpha 5}}$$

Le coefficient de distribution α que l'on peut caler par enquête auprès des ménages est pris égal ici à 0,066 mn⁻¹ (valeur conforme aux enquêtes pour des t_{ij} mesurés en temps généralisé).

Le temps moyen des déplacements des résidents considérés est alors : $t_p = P_c T + P_p 5$

Le coefficient x_0 du calcul d'accessibilité est égal ici à 15 mn ; c'est en effet, selon la théorie, l'inverse du coefficient α .

L'utilité moyenne est obtenue par application de la formule (3).

* Une telle analyse est proposée par la théorie de l'accessibilité, qui explique les transferts de destination par le fait que, après modification de l'offre de transport, la destination la meilleure (offrant la meilleure utilité nette) a changé pour certains citadins.

La même théorie montre que ces transferts sont précisément pris en compte dans l'indicateur U_i.

5.1.2.2. Gain de temps « à demande variable » et « à demande constante »

Il reste, sur cet exemple, à examiner en quoi l'importance de l'erreur commise en évaluant le service rendu à l'aide des gains de temps moyen dépend de la manière dont ce gain de temps est calculé.

Nous avons en effet calculé le temps moyen des déplacements, pour les trois situations envisagées à partir de la matrice des déplacements propre à chacune. La variation de temps moyen entre deux situations, telle qu'elle est calculée ici, tient donc compte simultanément des deux effets d'une variation de l'offre de transport :

- effet direct (variation des temps de déplacement sur les liaisons concernées) ;
- effet indirect (variation de la matrice des déplacements par suite de modifications dans le choix des destinations par les usagers).

Un tel calcul « avec trafic variable », qui reflète bien l'évolution du temps moyen mais mal celle du service rendu, nécessite l'emploi de modèle de trafic sensible à l'offre (distribution de trafic en fonction des temps). En France, de tels modèles n'ont guère été employés que dans les très grandes agglomérations, en raison de la relative lourdeur de leur mise en œuvre.

Dans la grande majorité des villes françaises, on emploie plutôt des modèles de distribution de trafic en fonction des distances à vol d'oiseau, incapables par nature de tenir compte de variations dans l'offre de transport. On ne peut alors calculer que des variations de temps moyen « avec trafic constant », c'est-à-dire supposer la matrice de déplacement constante pour toutes les variantes^{*} ; on ignore alors l'effet indirect sur la demande de trafic, signalé ci-dessus.

Or, dans l'exemple envisagé ici, on doit constater que la méthode « avec trafic constant », bien que logiquement moins satisfaisante que la méthode « avec trafic variable » représente mieux l'évolution du service rendu. On avait en effet obtenu, en comparant les situations S2 et S3 :

- variation d'utilité : 9,1 mn,
 - variation de temps moyen « avec trafic variable » : 4,8 mn,
 - variation de temps moyen « avec trafic constant » : 7,2 mn
- sur la base de la matrice de déplacement S2 (supposée constante) ;
sur la base de matrice de déplacements S3 (supposée constante) : 10,8 mn.

Or, il avait été établi que ces deux dernières valeurs devaient encadrer le gain économique moyen ; elles l'approchent donc mieux que la valeur de 4,8 mn trouvée avec trafic variable.

5.1.2.3. Généralisation : service rendu, temps et accessibilité

Ces résultats peuvent être généralisés. En cas d'amélioration de l'offre de transport^{**}, on peut montrer que l'avantage économique est compris entre les deux limites suivantes :

* Mathématiquement, les méthodes avec trafic « variable » ou « constant » opèrent comme suit, pour calculer la variation Δt de temps moyen entre deux variantes A et B caractérisées par les matrices de temps (t_{ij}^A) et (t_{ij}^B) :

a) méthode avec trafic variable :
calcul des matrices de déplacement (n_{ij}^A) et (n_{ij}^B) ;
calcul de Δt (pour les résidents de la zone i) :

$$\Delta t_i = \frac{\sum_j n_{ij}^A \cdot t_{ij}^A}{\sum_j n_{ij}^A} - \frac{\sum_j n_{ij}^B \cdot t_{ij}^B}{\sum_j n_{ij}^B}$$

b) méthode avec trafic constant :
calcul d'une matrice approximative unique de déplacement n_{ij}
calcul de Δt

$$\Delta t_i = \frac{\sum_j n_{ij} (t_{ij}^A - t_{ij}^B)}{\sum_j n_{ij}}$$

** Un résultat similaire peut être énoncé en cas de détérioration de l'offre. Le cas mixte (amélioration des temps sur certaines liaisons avec détérioration simultanée sur d'autres liaisons) est un peu plus complexe ; on peut le décomposer en deux modifications successives (améliorations puis détérioration) et obtenir alors des conclusions analogues.

- d'une part, le gain de temps calculé « à trafic constant », sur la base de la matrice de déplacements avant amélioration ;

- d'autre part le gain de temps moyen calculé dans les mêmes conditions avec la matrice de déplacement après amélioration^{*}.

Deux cas peuvent alors se présenter :

a. dans la mesure où cette fourchette n'est pas trop large, on peut espérer arriver à une estimation à peu près correcte en utilisant une matrice de déplacement unique, voisine des matrices de déplacement propres à chaque variante (elles-mêmes supposées ici voisines entre elles). C'est la méthode « avec trafic constant » qui peut être considérée comme une approximation acceptable dans ce cas.

b. dans les autres cas, et notamment lorsque l'on compare des situations contrastées où les matrices de temps et donc de trafic seraient très différentes, seuls les indicateurs d'utilité ou d'accessibilité paraissent devoir être utilisés.

Dans aucun de ces deux cas, la méthode « avec trafic variable » ne fournit de résultat correct.

On arrive ici à un paradoxe qui n'est pas le moindre dans ce problème, plus épineux qu'il n'y paraît, de l'évaluation économique : il apparaît que parmi les méthodes d'évaluation traditionnelles fondées sur le temps moyen ou le temps total des déplacements, les plus perfectionnées (celles qui tiennent compte des effets de l'offre sur la demande) sont en même temps les plus dangereuses.

L'exemple 3 ci-après illustrera ce problème sur un cas réel.

Signalons enfin que les difficultés d'interprétation des indicateurs de temps de transport, telles qu'elles ont été décrites ci-dessus, n'apparaissent pas seulement dans des cas extrêmes ou des hypothèses d'école. Elles ont déjà été rencontrées dans bien des études réelles, et particulièrement dans celles qui ont mis en œuvre des modèles de trafic suffisamment performants pour prendre en compte les reports de destination en cas de variation dans l'offre de transport ; quelques exemples tirés de cas concrets vont maintenant en être présentés.

5.1.3. Exemple 3 : Comparaison des variantes « rocade » et « pénétrante » au Mans

Cette étude fut effectuée en 1971 et reprise en 1974 pour fournir des données au dossier-type « Ville témoin » de la préparation du VII^e Plan.

L'un des éléments de cette comparaison par analyse multicritères était le bilan économique des déplacements ; les résultats présentés ici concernent les migrants alternants utilisant la voiture et rentrant de leur travail dans les conditions de l'heure de pointe du soir.

Les temps de parcours domicile-travail ont été pris égaux aux temps de l'heure de pointe du soir sur le trajet inverse (travail-domicile), qui ont été calculés dans chaque variante par le programme DAVIS.

On a ainsi pu obtenir pour les migrants concernés et dans chacune des deux variantes :

- la matrice des temps de parcours domicile-travail ;
- la matrice des déplacements domicile-travail en fonction de ces temps de parcours.

La comparaison économique des deux variantes pour une journée où 29 500 migrants se rendent à leur travail en voiture et en reviennent dans les conditions indiquées, donne les résultats suivants selon la méthode employée :

* Pour établir ce résultat, on peut d'abord observer que, en cas d'amélioration (ou de dégradation) de l'offre de transport, rien n'empêche les usagers de conserver leurs anciennes destinations ; le gain (ou la perte) de service rendu serait alors égal à la variation de temps moyen calculée « à trafic constant » sur la base du trafic avant modification. Si les usagers changent de destination à cette occasion, c'est qu'ils y trouvent un avantage supplémentaire (ou un moindre désavantage). Le résultat annoncé peut alors être établi en appliquant le raisonnement ci-dessus à la modification envisagée (amélioration par exemple) puis à la modification inverse (détérioration ramenant à l'état initial). Signalons que ce raisonnement n'est plus tout à fait rigoureux lorsque les choix des destinations effectués par les différents usagers ne sont pas indépendants (« contraintes aux marges » que doivent respecter les déplacements domicile-travail).

Tableau 2 : Comparaison économique entre les variantes « rocade » et « pénétrante » selon différentes méthodes.

Méthode employée	Avantages de la rocade sur la pénétrante	
	Gain moyen de temps par déplacement	Gain de temps total sur une journée (ensemble des migrants)
Variation de temps avec trafic variable	0,88 mn	860 h
Variation de temps avec trafic constant (base : trafics rocade)	2,32 mn	2 280 h
Variation de temps avec trafic constant (base : trafics pénétrante)	1,74 mn	1 706 h
Variation d'utilité globale (indicateurs d'accessibilité)	2,02 mn	1 980 h

Ces résultats sont largement conformes à ceux du cas simplifié exposé ci-dessus (comparaison des situations S2 et S3).

Dans la mesure où les temps de la variante rocade sont inférieurs sur presque toutes les liaisons à ceux de la variante pénétrante, on peut dire que l'avantage économique réel doit se situer entre les deux résultats obtenus « avec trafic constant ». Cette condition est bien vérifiée par le calcul utilisant les indicateurs d'accessibilité.

La méthode « avec trafic variable », bien que reflétant mieux les variations réelles de temps, ne remplit pas la condition précédente et ne peut servir de base à un calcul économique correct.

On vérifie également qu'ici aussi, un ordre de grandeur correct à 15 ou 20 % près aurait été obtenu par un calcul « avec trafic constant », sur la base d'une matrice approximative issue par exemple d'une distribution de trafic unique en fonction de distances à vol d'oiseau. Cette constatation ne pourrait cependant pas être étendue à des comparaisons entre variantes plus contrastées (les variantes « rocade » et « pénétrante » envisagées ici conduisant finalement à des matrices de temps assez proches).

Enfin, signalons que ce calcul a été effectué avec et sans prise en compte des « contraintes aux marges » dans les calculs de distribution de trafic et d'accessibilité* ; les temps de transport sont légèrement accrus (d'environ 7 %) par la prise en compte des contraintes aux marges, mais les différences de temps total ou d'utilité entre variantes sont très peu modifiées et les conclusions sont identiques.

5.1.4. Exemple 4 : Préparation du VII^e Plan en région parisienne

En région parisienne, différentes variantes de programmation ont été testées à l'horizon 1985 à l'occasion de la préparation du VII^e Plan, en utilisant des modèles de trafic susceptibles de rendre compte des changements de destination (trafic variable).

Ces études ont fait apparaître des phénomènes tout à fait semblables à ceux qui ont été décrits ci-dessus dans la comparaison des situations S1 et S2 du cas théorique : ainsi, l'amélioration des transports entre Paris et les pôles périphériques a pour conséquence d'accroître les temps moyens de déplacement des habitants de certains pôles périphériques.

De même, le temps moyen des déplacements sur l'ensemble de la région parisienne n'est que faiblement réduit par des nouveaux investissements en transport pourtant considérables : cette conclusion est à rapprocher

* La prise en compte des contraintes aux marges dans les calculs d'accessibilité est décrite en [6].

des résultats similaires obtenus lors de la comparaison des variantes S2 et S3 du cas théorique, et dans la comparaison des temps totaux de transport des variantes « rocade » et « pénétrante » au Mans.

Il semble donc, ici également, que les variations de temps moyen ne reflètent que très imparfaitement l'intérêt économique des réseaux de transport envisagés. L'emploi d'indicateurs d'accessibilité permettrait, ici aussi, de lever cette difficulté ; ces indicateurs, sous forme d'accessibilité isochrone, ont d'ailleurs été utilisés en région parisienne dès la préparation du VI^e Plan.

5.1.5. Exemple 5 : Plan de transport de Hambourg

En 1971, une équipe dirigée par le Professeur Teichgraber étudia un nouveau plan de transport pour l'agglomération de Hambourg. Là aussi, il fut constaté que la mise en service de réseaux ambitieux d'autoroutes urbaines et de transports collectifs ne diminuait pas sensiblement les temps de transport et les accroissait parfois ; cela était dû au fait, déjà évoqué, que les citoyens profitent des performances accrues du réseau de transport pour accéder à des destinations plus lointaines.

Ce paradoxe apparent fut finalement résolu à Hambourg par l'introduction d'indicateurs d'accessibilité gravitaire dans les études d'évaluation.

5.1.6. Conclusion pratique pour les études d'évaluation

L'examen des exemples précédents permet de proposer quelques conclusions générales :

- les indicateurs d'accessibilité, et les indicateurs d'utilité qui leur sont liés, donnent dans la pratique les résultats qui paraissent les plus satisfaisants ; ils confirment ainsi les avantages que leur attribue la théorie.
- à défaut des indicateurs d'accessibilité, et dans la mesure où les variantes comparées ne sont pas trop contrastées, on peut admettre à titre d'approximation l'emploi d'indicateurs de temps ou de coût généralisé des déplacements. Il est impératif pour cela de calculer ces indicateurs sans prendre en compte les variations de trafic, c'est-à-dire de raisonner sur une matrice de déplacement unique pour toutes les variantes (et donc fatalement approximative).
- les indicateurs de temps moyen ou total calculés en tenant compte des variations de trafic reflètent évidemment mieux la réalité des temps de parcours. Mais ils ne permettent plus dans ce cas une comparaison valable du niveau de service offert par différentes variantes. Utilisés sans discernement, ils peuvent conduire à des erreurs considérables malgré leur perfectionnisme apparent. Cette pratique, encore fréquente actuellement, désavantage tout particulièrement les transports collectifs. L'amélioration des transports collectifs se traduit en effet souvent, pour leurs usagers, par l'ouverture de destinations auparavant inaccessibles : or, c'est justement dans ce cas que les biais sont les plus forts.

5.2. Exemples d'utilisation des indicateurs d'accessibilité

Les exemples présentés ci-dessus ont montré que l'emploi d'indicateurs d'accessibilité pouvait, dans certains cas, éviter d'importantes erreurs de jugement.

Ces indicateurs ont donc vocation à être largement utilisés dans les études de transport chaque fois qu'il y aura lieu d'évaluer le service rendu. Nous allons donner maintenant quelques exemples d'application, illustrant les conclusions qu'ils permettent d'obtenir dans les conditions réelles d'utilisation.

Il y a quelques années, la préoccupation majeure concernant le service rendu portait sur l'efficacité globale (ou le rendement économique) des opérations de transport envisagées. Un exemple d'utilisation des indicateurs d'accessibilité par une telle étude « agrégée » a déjà été donné ci-dessus (exemple 3 - Comparaison des variantes rocade et pénétrante du Mans). Notons qu'une telle agrégation suppose que l'on puisse valablement additionner des temps ou des utilités sur toute une population urbaine.

Plus récemment, et compte tenu de l'objectif d'équité sociale affiché dans la planification des transports, l'attention s'est plutôt reportée vers les effets distributifs des opérations de transport sur différents groupes sociaux (et particulièrement les groupes défavorisés). C'est surtout, pensons-nous, dans de telles analyses « désagrégées » par catégorie de personnes et par zone géographique que les indicateurs d'accessibilité

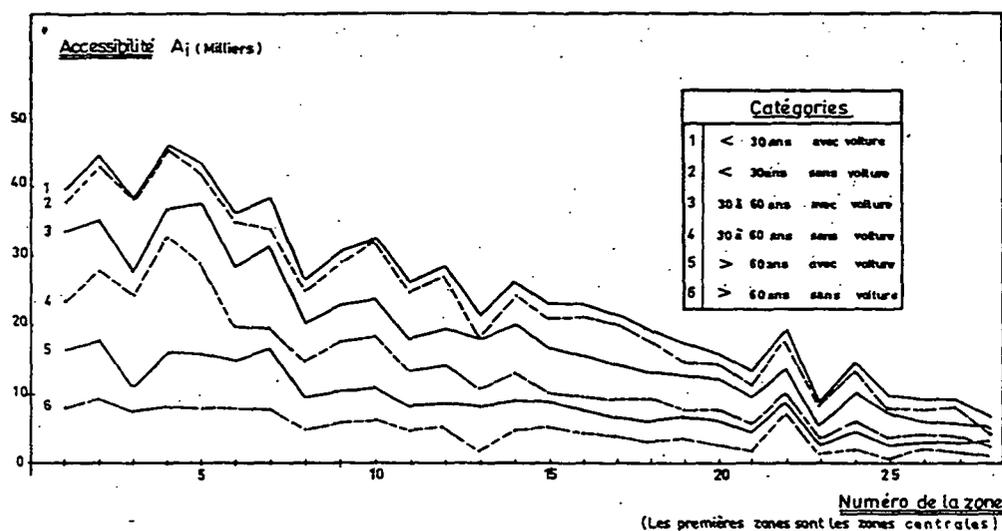


Figure 1 bis.
Carte du découpage
en zones
de Marseille.

trouvent leur meilleur champ d'application, et nous en donnerons ci-dessous quelques exemples.

5.2.1. Exemple 6 : Analyse des inégalités entre groupes sociaux dans une grande ville (d'après enquête auprès des ménages à Marseille).

La figure 1 (page 14) représente l'indicateur d'accessibilité aux emplois tertiaires pour six catégories de personnes à Marseille, selon la zone de résidence ; les données proviennent d'une enquête auprès des ménages effectuée en 1966.

Les six catégories de personnes ont été définies par :

- la disponibilité d'une voiture (oui ou non)
- l'âge (moins de 30 ans, entre 30 et 60, plus de 60).

Il apparaît de plus que l'amélioration relative d'accessibilité (en %) apportée par la possession d'une voiture est plus élevée dans les zones périphériques que dans les zones centrales. Dans ces zones périphériques, la possession d'une voiture atténue fortement la perte d'accessibilité due à l'éloignement des zones denses centrales. De ce point de vue, la diffusion de la voiture favorise l'éclatement de l'urbanisation et réciproquement.

Enfin, il peut être intéressant de chercher à savoir quel est le poids de chacune des six catégories considérées ci-dessus dans la population totale considérée (âgée de plus de 5 ans).

L'enquête de Marseille a permis d'obtenir les résultats approximatifs ci-dessous en 1966 :

Tableau 3 : Part de chaque catégorie dans la population totale à Marseille

Catégorie	Coefficient de pénibilité			
	voiture (VP)	Transport collectif (TC)	2 roues	à pied
1 - Moins de 30 ans, avec voiture	1	1,1	2,2	1,2
2 - Même personne, sans voiture	∞	1,1	1,8	1,2
3 - De 30 à 60 ans, avec voiture	1	1,3	2,6	1,7
4 - Même personne, sans voiture	∞	1,3	2,6	1,7
5 - Plus de 60 ans, avec voiture	1,5	1,9	∞	2,2
6 - Plus de 60 ans, sans voiture	∞	1,9	∞	2,2

En effet l'âge influence fortement la pénibilité ressentie pour les déplacements à pied ou en deux-roues (cf. annexe).

Les accessibilités ont été calculées pour chaque catégorie conformément à la méthode générale décrite en annexe (avec des temps généralisés établis à l'aide de coefficients de pénibilité voisins de ceux du tableau 5).

On voit que la possession d'une voiture améliore fortement l'accessibilité d'une personne âgée (qui double presque entre les courbes 5 et 6). Par contre, la possession d'une voiture accroît moins l'accessibilité d'une personne d'âge moyen (de 40 % environ, par comparaison des courbes 3 et 4) et moins encore l'accessibilité d'une personne jeune (les courbes 1 et 2 sont presque confondues) : en effet, les jeunes prennent facilement le deux-roues qui est un mode inconfortable mais très rapide.

Par ailleurs, on voit que les résidents des zones centrales bénéficient d'une meilleure accessibilité que ceux des zones périphériques ; on voit également que l'inégalité relative entre catégories de personnes est beaucoup plus forte en périphérie (où A_i varie de 1 à 10 et plus) qu'au centre (où A_i varie de 1 à 5).

Ce tableau, destiné à donner des ordres de grandeur, n'est cependant pas d'une précision absolue. En particulier, il a été établi en admettant que les voitures particulières des ménages sont entièrement appropriées par une seule personne ; la population ayant accès à une voiture est ainsi sous-estimée, notamment parmi les jeunes (la voiture ayant été attribuée en priorité aux chefs de ménage).

En conclusion, l'intérêt d'une telle analyse de l'accessibilité par catégorie de personnes est qu'elle donne une image assez complète, à la fois sociale et spatiale, de la distribution du service rendu entre divers groupes de citoyens. On peut ainsi mettre en évidence les catégories les mieux ou les plus mal servies, mesurer quantitativement ces privilèges ou ces déficiences, et avoir une idée du nombre de personnes concernées ; on peut donc également, de cette manière, orienter la recherche d'actions propres à remédier aux défauts constatés, et analyser l'impact d'une modification de l'offre de transport (par comparaison des cartes d'accessibilité « avant » et « après »). A titre d'exemple, une amélioration de l'offre en transport collectif (telle que la création d'un métro) se traduirait vraisemblablement par des gains très variables selon les groupes :



Figure 1 Accessibilité aux emplois tertiaires par catégorie de personnes à Marseille

très forts pour les personnes âgées sans voiture, moins forts pour les personnes jeunes ou d'âge moyen sans voiture, faibles pour des jeunes disposant d'une voiture.

5.2.2. Exemple 7 : Distribution spatiale de l'accessibilité pour des personnes âgées sans voiture (enquête auprès des ménages de Rouen).

Les personnes âgées sans voiture constituent le plus défavorisé des groupes sociaux considérés dans la méthode proposée au paragraphe précédent. N'ayant accès ni à la voiture ni aux deux-roues, elles se trouvent, en dehors des déplacements très proches qu'elles peuvent faire à pied, entièrement dépendantes des transports collectifs. Or, le poids de ce groupe n'est nullement négligeable, puisqu'il est de l'ordre de 15 % de la population âgée de plus de 5 ans à Marseille. Il est donc particulièrement intéressant, dans un souci d'équité sociale, d'analyser la situation

de ce groupe en vue, par exemple, d'orienter les actions de promotion des transports collectifs.

La figure 2 représente une carte d'accessibilité aux emplois tertiaires, établie pour ce groupe selon la méthode décrite en annexe et à partir des données de l'enquête auprès des ménages de 1967 à Rouen.

Par comparaison avec les cartes similaires établies pour les autres catégories, et non représentées ici, l'accessibilité prend des valeurs plus faibles, et plus rapidement décroissantes (en valeur relative) du centre vers la périphérie.

Cette figure montre que les personnes considérées obtiennent un niveau d'accessibilité que l'on peut à la rigueur considérer comme acceptable dans le centre ville ; il y est d'ailleurs dû pour beaucoup aux possibilités de déplacement à pied. En périphérie par contre, en particulier dans

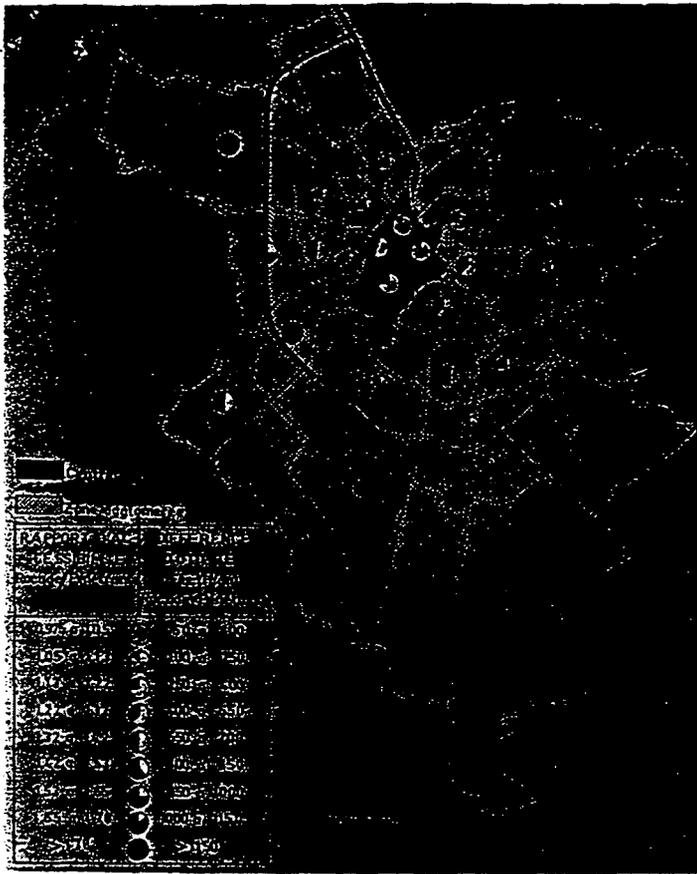


Figure 5. Le Mans, 1977. Comparaison des variantes rocade et pénétrante.

De même, il peut sembler surprenant que les seules zones où la pénétrante soit compétitive par rapport à la rocade sont au sud, alors que la pénétrante est au nord : cela provient du fait que la rocade draine beaucoup de trafic sur son prolongement sud, faisant ainsi barrage entre le sud et le centre ville.

Les cartes d'accessibilité permettent donc, bien mieux que les cartes traditionnelles de taux de saturation de la voirie, de voir à qui profite ou à qui nuit tel ou tel choix de programmation routière (ou plus généralement, de politique de transport).

6. Accessibilité, mobilité, urbanisation

L'accessibilité est intrinsèquement liée au comportement des citoyens dans leurs déplacements, comme cela apparaît dès que l'on cherche à expliciter la notion même d'accessibilité. La théorie de l'accessibilité par exemple, à partir d'hypothèses simples de comportement individuel, permet d'obtenir simultanément les indicateurs d'accessibilité et un modèle de choix des destinations (modèles gravitaires classiques) ; elle permet également de prévoir une relation étroite entre accessibilité et mobilité^{*}.

Cependant, et dans la mesure où ils reflètent un déterminant fondamental de la vie urbaine, les indicateurs d'accessibilité peuvent aussi être utilisés pour expliquer, et éventuellement, mesurer et prévoir, le comportement du citoyen en dehors même de ses déplacements.

* Par contre elle ne permet pas de prévoir une relation causale directe entre les accessibilités par mode et la répartition modale : l'accessibilité caractérise d'ailleurs globalement une zone d'émission alors que la répartition modale doit être étudiée séparément pour chaque couple origine-destination.

Ainsi, il est clair que plus le gain d'accessibilité procuré par la disposition d'une voiture est élevé, plus l'incitation à l'achat d'une voiture est forte. On peut donc penser que l'équipement en voiture des ménages est lié au rapport des accessibilités disponibles avec et sans voiture. Cette recherche n'a pas encore été entreprise en France ; on peut mentionner ici les travaux de Dunphy [12] qui a mis en évidence une relation inverse entre la motorisation des ménages et l'accessibilité en transports collectifs (à revenu donné).

Une autre manière pour le citoyen de s'acheter une bonne accessibilité consiste naturellement à choisir son domicile dans les quartiers les mieux situés : on retrouve ainsi le lien entre accessibilité, urbanisation et rente foncière, qui est à l'origine des premières utilisations des indicateurs d'accessibilité il y a quelque quinze ans.

Nous n'examinerons ici que les études les plus récentes effectuées en France sur les relations entre accessibilité d'une part, mobilité et urbanisation d'autre part.

6.1. Accessibilité et mobilité

L'idée d'une relation entre la génération de trafic et l'accessibilité est presque aussi ancienne que la notion d'accessibilité elle-même : l'existence de cette relation a déjà été établie à l'aide de tests statistiques effectués sur des modèles linéaires de génération de trafic, où l'accessibilité était une des variables explicatives [14].

A partir de 1973, une étude systématique de ces relations fut entreprise à l'arrondissement U 10 de la Division Urbaine du SETRA^{*} ; l'objectif était de préciser quantitativement ces relations, afin de les intégrer dans un modèle de génération de trafic qui tiendrait compte de l'offre de transport. Ces recherches s'appuyaient sur deux améliorations :

- le calcul de l'accessibilité par catégorie de personnes ;
- l'utilisation, suggérée par la théorie de l'accessibilité et largement justifiée par les résultats, de l'indicateur $\text{Log } A_i$ au lieu de A_i pour rendre compte de l'incitation à faire des déplacements.

Les déplacements considérés dans cette étude sont l'ensemble des déplacements non liés au travail (ou à l'école). En effet, il a paru que les déplacements pour le travail ou l'école sont a priori trop contraints pour être influencés par l'accessibilité ; d'autre part, les données manquaient dans cette première étude pour analyser des motifs moins agrégés (achats, loisirs, visites...).

Ces déplacements étaient considérés par tous modes y compris marche à pied ; les destinations envisagées étaient les emplois tertiaires.

Les catégories de personnes considérées sont les six catégories d'usagers présentées en annexe obtenues en croisant trois classes d'âge avec la disponibilité ou non d'une voiture. On a, en outre, distingué les actifs des non-actifs ; ces deux sous-groupes ont en effet a priori des comportements assez différents en matière de déplacements non liés au travail. On arrive ainsi aux 13 sous-catégories de personnes (avec les scolaires) du tableau 1 de l'annexe.

Pour chacune de ces treize sous-catégories, l'étude a donc consisté à analyser la mobilité des personnes en fonction de leur accessibilité aux emplois tertiaires, qui varie selon la zone de résidence ; les données provenaient des enquêtes auprès des ménages faites à Marseille et Nice en 1966, puis à Nice, Grenoble et Rouen en 1973.**

* Ces recherches ont été effectuées par Giber et Monet [11] puis poursuivies par Giber, avec la participation de Lenhardt, Seigner, Ferry, sous la direction de l'auteur (puis de Troignon dans le cadre du CETUR).

** Le calcul de l'accessibilité, pour lequel il n'y a que six catégories de personnes distinctes (les scolaires ayant été assimilés aux jeunes sans voiture), s'effectue comme décrit ci-dessus ; la seule difficulté consiste à extraire des enquêtes les matrices de temps par mode, l'échantillonnage un peu restreint (4 000 ménages) ne donnant pas toujours des renseignements fiables sur toutes les liaisons.

Le calcul de la mobilité, effectué séparément pour les treize sous-catégories de personnes, s'est avéré un peu plus délicat : il faut en effet pour cela pouvoir dire à quelle sous-catégorie appartient chacun des individus dont la mobilité a été observée lors de l'enquête. Or, si l'enquête renseigne facilement sur l'âge et l'activité d'une personne, il est plus difficile de savoir si cette personne dispose ou non habituellement d'une voiture ; il a fallu établir pour cela un modèle de dévolution de la voiture ou des voitures au sein d'un ménage (priorité au chef de ménage, puis aux actifs sur les inactifs...). Malgré les vérifications indirectes qui ont donné des résultats acceptables, on sous-estime fatalement la population qui a accès à la voiture (comme conducteur ou passager), puisque chaque voiture est attribuée à une personne et une seule.

les secteurs mal desservis par les T.C. qu'une telle carte peut mettre en évidence, l'accessibilité se dégrade très fortement.

5.2.3. Exemple 8 : Comparaison de variantes de programmation routière au Mans.

Ce cas a déjà été évoqué (exemple 3 ci-dessus) à propos des relations entre accessibilité et temps de transport : nous allons examiner ici les conséquences du choix entre les variantes « rocade » et « pénétrante » sur la distribution spatiale de l'accessibilité aux emplois pour des citadins motorisés, en fonction de la zone de résidence.

Pour simplifier, le calcul d'accessibilité a été effectué à partir des temps en voiture (en toute rigueur, et comme indiqué en annexe, il aurait fallu prendre le temps du mode le meilleur pour des personnes disposant d'une voiture : le biais ne paraît pas considérable dans le cas présent).

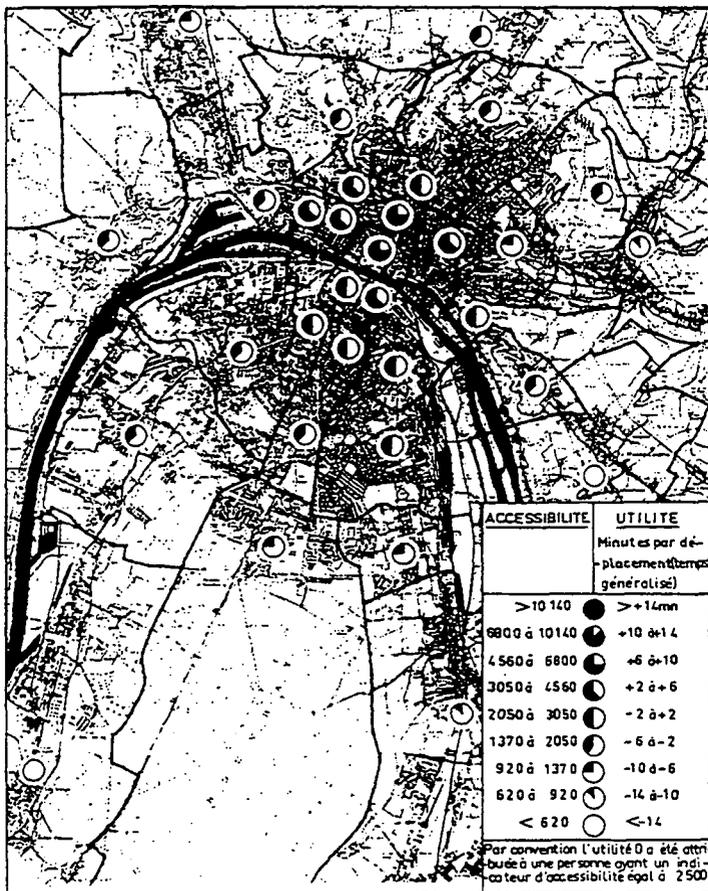


Figure 2 Accessibilité aux emplois tertiaires à Rouen (personnes âgées sans voiture).

Les figures 3 et 4 représentent les cartes d'accessibilité dans la variante « rocade ouest » et dans la variante « pénétrante nord ». Elles montrent que le Centre Ville bénéficie de la meilleure accessibilité aux emplois ; les difficultés de circulation dans le centre y sont en effet compensées par la grande densité des emplois.

La figure 5 représente la différence des utilités (ou le rapport des accessibilités) offertes par les deux variantes. Elle met en évidence l'avantage de la rocade, non seulement dans les zones proches de la rocade elle-même, mais également, ce qui est plus inattendu, dans des zones relativement éloignées ; ainsi la rocade décongestionne le centre en offrant un itinéraire d'évitement au trafic nord-sud qui, en variante pénétrante, y passerait nécessairement.

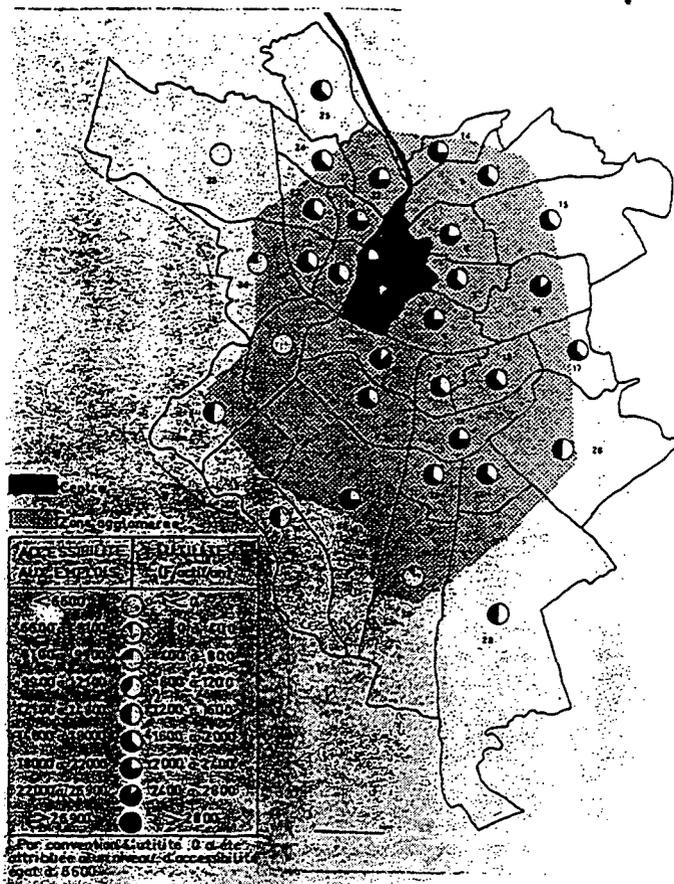
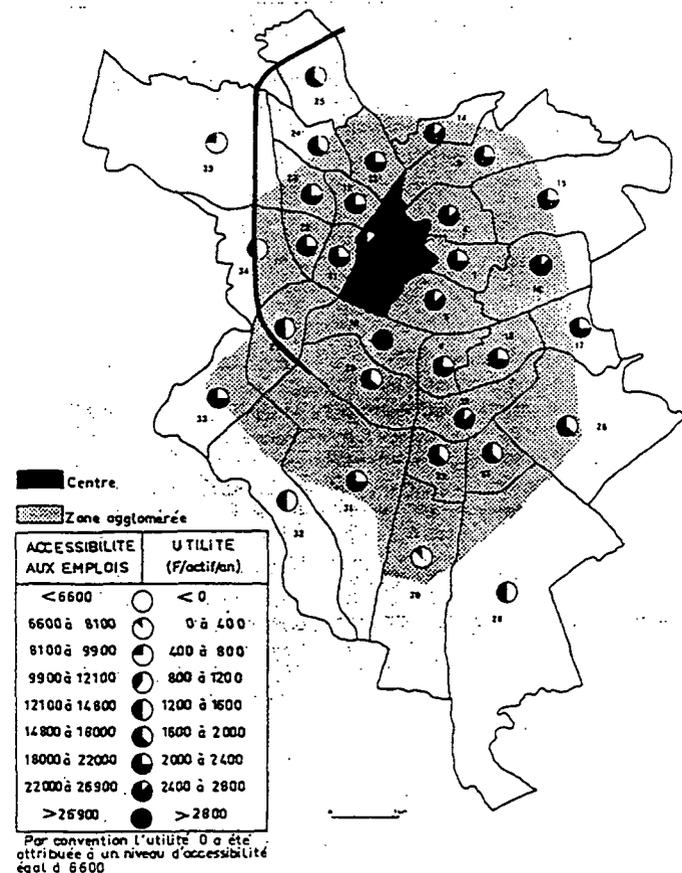


Figure 3. Le Mans, 1977. Hypothèse de création d'une pénétrante. Accessibilité et utilité nette offerte par les emplois (en voiture particulière)

Figure 4. Le Mans, 1977. Hypothèse de création d'une rocade. Accessibilité et utilité nette offertes par les emplois (en voiture particulière).



A titre d'exemple, les figures 3 à 5 illustrent les relations obtenues entre accessibilité et mobilité calculées comme indiqué ci-dessus. Les résultats les plus intéressants portent sur les déplacements des non-actifs ; on vérifie en effet que, comme on pouvait l'attendre, leur mobilité pour motifs autres que travail est nettement plus élevée que celle des actifs, ainsi que l'influence de l'accessibilité sur cette mobilité. Les principales conclusions sont les suivantes, pour ces personnes non actives :

1. L'accessibilité est un facteur explicatif fondamental de la mobilité.

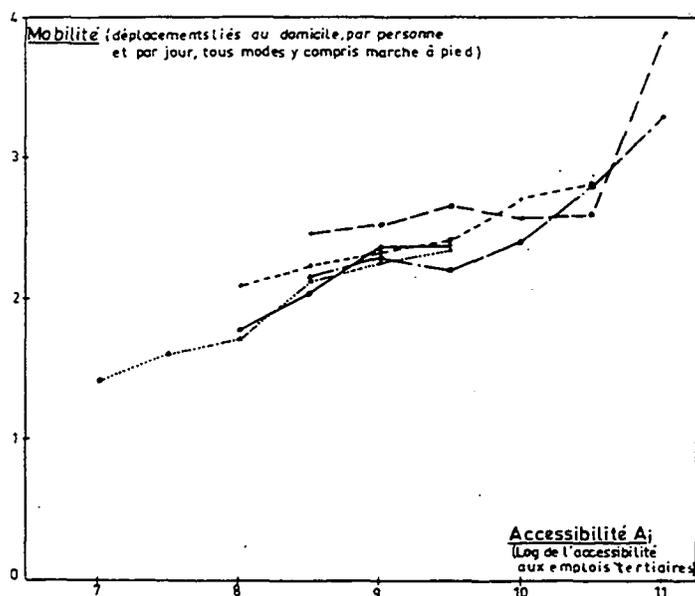
La mobilité moyenne de personnes vivant dans une même ville peut varier du simple au double ou même au triple, selon qu'elles disposent à leur domicile d'une accessibilité particulièrement mauvaise ou bonne (fig. 3, 4 et 5).

2. Les relations accessibilité/mobilité obtenues sont à peu près linéaires, ce qui justifie a posteriori le choix de l'indicateur $\text{Log } A_i$ pour représenter l'accessibilité ; le pente moyenne des droites est d'environ 0,4 déplacement par personne et par jour par unité de $\text{Log } A_i$.

3. A l'intérieur d'une même ville (fig. 6.) les courbes accessibilité/mobilité obtenues pour les différentes catégories de personnes peuvent être considérées comme confondues ; les légers écarts observés pourraient s'expliquer par des considérations purement statistiques.*

Pour une ville donnée, on peut donc, pour des études de génération de trafic, n'utiliser qu'une courbe mobilité/accessibilité unique, valable pour toutes les catégories d'inactifs.

4. Les résultats obtenus sont assez comparables d'une ville à l'autre, comme on le voit sur la figure 7, et sur la figure 8 qui représente les résultats obtenus pour les inactifs non motorisés âgés de plus de 60 ans sur cinq villes.



Chaque point représente l'ensemble des personnes de la catégorie considérée situées, du fait de leur zone de résidence, dans une tranche d'accessibilité donnée (Log A_i variant de $\pm 0,5$ autour du point moyen considéré).

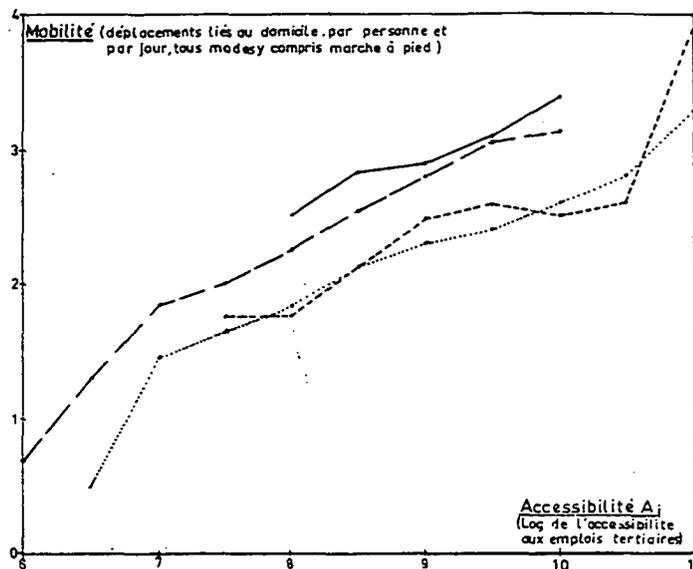
Moins de 30 ans avec VP (P.m)	-----
Moins de 30 ans sans VP	-----
30 à 60 ans avec VP	-----
30 à 60 ans sans VP	-----
Plus de 60 ans avec VP	-----
Plus de 60 ans sans VP	-----

Figure 6. Relation entre accessibilité et mobilité pour cinq catégories de personnes non actives.

Ce résultat très important permet par exemple d'interpréter l'effet de la motorisation sur la mobilité : l'achat d'une voiture accroîtrait la mobilité dans la mesure où il accroît l'accessibilité disponible, la relation entre mobilité et accessibilité n'étant nullement modifiée par ce changement de catégorie.

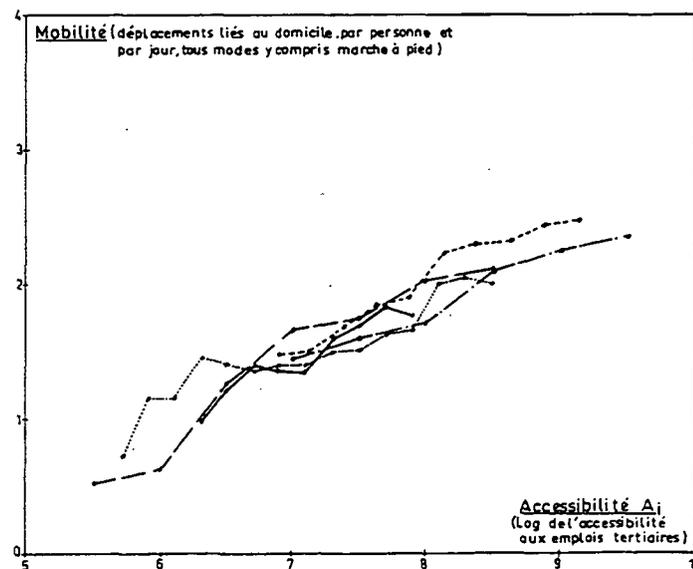
La figure 7 confirme, sur les villes de Marseille et Nice, que les relations entre mobilité et accessibilité sont pratiquement confondues pour les inactifs motorisés ou non motorisés, toutes tranches d'âges agrégées.

* Pour des catégories de personnes numériquement faibles, certains points ont été établis à partir d'une dizaine d'observations seulement ou même moins, ce qui ne peut donner une idée fiable de la mobilité moyenne.



	Inactifs	
	avec VP	sans VP
Nice 1966	-----	-----
Marseille 1966	-----	-----

Figure 7. Relation entre accessibilité et mobilité pour des personnes non actives, motorisées ou non (enquête de Marseille et Nice).



Grenoble 1973	-----
Nice 1973	-----
Rouen 1973	-----
Nice 1966	-----
Marseille 1966	-----

Figure 8. Relation entre accessibilité et mobilité : comparaison entre cinq villes (inactifs de plus de soixante ans sans voiture).

Le faisceau de courbes obtenu, bien que plus dispersé que celui de la figure 6 pour une même ville, reste assez resserré. L'écart entre les courbes peut, là aussi, s'expliquer par les considérations d'échantillonnage déjà évoquées ou par de légères différences dans les méthodes de calage des paramètres pour les différentes villes. Mais cet écart pourrait encore s'expliquer par la constatation, déjà faite à plusieurs reprises, que la mobilité moyenne obtenue par enquête auprès des ménages peut varier sensiblement en fonction des méthodes d'interrogation (notamment pour les déplacements à pied qui sont inclus dans la présente étude).

Il n'est donc pas exclu qu'une courbe unique puisse être utilisée, au moins à titre d'approximation, pour toutes les catégories de personnes dans différentes villes.

En conclusion, les relations obtenues entre accessibilité et mobilité sont remarquablement homogènes d'une catégorie de personnes à l'autre, et même d'une ville à l'autre. Elles devraient permettre de bâtir un modèle de génération de trafic relativement universel et tenant compte, à l'inverse de modèles existants, de l'offre de transport.

On pourrait ainsi, par exemple, prévoir le trafic induit en cas d'amélioration de l'offre. En particulier, une amélioration des transports collectifs peut se traduire par une croissance très sensible de l'accessibilité et de la mobilité pour les personnes non motorisées ; l'expérience de Besançon montre que cet effet n'est nullement négligeable.

6.2. Accessibilité et urbanisation

L'accessibilité, que l'on peut considérer comme l'un des biens fondamentaux recherchés par les citoyens dans la vie urbaine, est l'un des facteurs explicatifs naturels du développement des villes [1] [7] [6].

C'est d'ailleurs dans les études d'urbanisme (rente foncière, évolution des structures sociales et localisation du développement urbain) que les indicateurs d'accessibilité ont trouvé leur première utilisation. Cet impact important de l'accessibilité sur l'urbanisation est confirmé par de nombreuses observations :

a. Depuis le début de ce siècle, un nouveau mode de transport collectif à la demande, peu coûteux et très supérieur au transport individuel, fut largement mis en service dans toutes les villes françaises. Les conséquences en furent une redistribution radicale de l'accessibilité entre les différents logements concernés, avec une forte modification des valeurs immobilières et de la géographie sociale traditionnelle des logements telle que l'avait décrite Zola [15].

Il s'agissait évidemment de l'ascenseur.

b. Une étude récente de l'IAURP a été consacrée aux effets sur l'urbanisation de la mise en service de la branche Est du RER [16]. Si l'effet du RER a paru faible sur la vitesse de l'urbanisation (ce qui est normal, compte tenu de la rigidité des mécanismes fonciers dans une zone largement urbanisée) une influence sensible a été détectée sur les valeurs foncières.

c. Nous citerons, pour mémoire, les nombreuses études qui ont montré les liens entre diffusion automobile d'une part, et extension des villes d'autre part (en particulier sous forme d'habitat individuel).

d. Plus généralement, une amélioration des temps de transport entre centre et périphérie risque d'accentuer la fuite des résidents du centre vers les zones périphériques : elle réduit en effet la rente de situation dont bénéficient, sur le plan de l'accessibilité, les résidents du centre. Une étude prévisionnelle faite à Amsterdam [17] dans deux hypothèses d'offre de transport radiale a tenté d'évaluer les conséquences possibles de ce facteur : une attention croissante est actuellement accordée à ces effets indirects, favorables ou pervers, de l'accessibilité.

Depuis plus de quinze ans, un effort colossal a été consacré aux modèles de développement urbain et l'expérience acquise est considérable. Cependant, et comme le montre un bilan dressé par l'IAURP [18], le résultat de ces travaux s'est avéré dans l'ensemble plutôt décevant : malgré quelques performances honorables, aucun jeu d'indicateurs quantifiés, fussent-ils des indicateurs d'accessibilité, ne s'est avéré capable de rendre compte du phénomène d'urbanisation au point d'en permettre une prévision précise. S'agissant d'un phénomène aussi complexe, c'est bien le contraire qui eût été étonnant.

Aussi, les recherches qui vont être décrites ne poursuivaient-elles que des objectifs relativement modestes. L'étude présentée ici fut entreprise à partir de 1973 au SETRA [19].

Il s'agissait en particulier :

- de mesurer, par reconstitution de situations passées, les performances (a priori réduites) d'un modèle d'urbanisation volontairement simple, incluant l'accessibilité et quelques autres facteurs importants comme le coût d'urbanisation et la qualité d'environnement ;
- de comparer approximativement les poids respectifs de ces différents facteurs dans l'urbanisation observée ;
- de voir dans quelle mesure les conclusions ainsi dégagées sont ou non stables d'une ville à l'autre.

La méthode a consisté à caler un modèle d'urbanisation (fixé a priori) à partir de données sur l'implantation de logement recueillies sur quatre villes (Toulouse, Bordeaux, Grenoble et Nice) et pour une ou deux périodes passées (d'une durée d'environ quatre ans). L'implantation d'activités n'a pas été étudiée.

La méthode de calage était une méthode itérative classique dite « de gradient », où l'on cherche, à chaque itération, à modifier au mieux les paramètres du modèle de manière à améliorer la performance de reconstitution ; cette performance de reconstitution était mesurée soit par la corrélation entre urbanisations calculée et observée sur chaque zone (qu'il fallait maximiser) soit par l'écart relatif moyen pondéré entre urbanisations prévue et observée par zone (qu'il fallait alors minimiser).

Le modèle d'urbanisation était formulé comme suit dans sa dernière version :

$$h_i = H \frac{O_i e^{x_0} \frac{V_i}{x_0}}{\sum_j O_j e^{x_0} \frac{V_j}{x_0}}$$

avec :

- h_i = population nouvelle dans la zone i pendant la période considérée,
- H = population nouvelle totale (supposée connue) pendant la période considérée,
- O_i = capacité résiduelle d'accueil de la zone i ,
- V_i = grandeur représentant en termes économiques, l'intérêt global d'une localisation dans la zone i ,
- x_0 = paramètre fixe.

La logique de ce modèle est simple : l'accroissement total de population H (supposé connu pour la période considérée) est réparti entre les diverses zones i au prorata de la capacité résiduelle des zones, et d'un facteur reflétant l'intérêt qu'elles présentent pour l'habitation.

Le facteur V_i a été considéré comme une somme de un ou plusieurs des termes élémentaires suivants calculés sur une base annuelle :

- un terme représentatif de l'accessibilité (utilité U_i d'accès aux emplois et aux services pour tous les déplacements des personnes d'un ménage moyen pendant un an) multiplié par un paramètre de calage kU ;
- le coût C_i de viabilisation et de construction par logement (exprimé en amortissement annuel) et multiplié par un paramètre de calage kc ;
- la qualité du site S_i , notée a priori de 0 à 5 multipliée par un paramètre de calage s (qui a la dimension d'une valeur annuelle du point de site) ;
- l'espace par habitant E_i , noté a priori de 0 à 5 et multiplié par un paramètre de calage e (qui a la dimension d'une valeur annuelle du point d'espace).

D'où sous la forme la plus complète :

$$V_i = kU \cdot U_i - kc \cdot C_i + sS_i + eE_i$$

Cette formule est évidemment assez critiquable :

- elle omet certains facteurs importants de l'urbanisation : état du marché foncier, volontarisme d'opérations publiques, surface et qualité des logements (dont on ne connaît que le coût moyen par zone), concurrence d'autres utilisations du sol (bureaux, activités...) ;

* Après un premier essai confié à l'IAURP sur Toulouse, elle fut surtout réalisée par Lannuzel [19], avec la participation de Carpentier et Lenhardt, sous la direction de Poullit et de l'auteur.

- les facteurs qu'elle retient ne sont pas indépendants (notamment C et E, ou C et U dans la mesure où C inclut la charge foncière) ;

- l'accessibilité est difficile à définir : elle doit être calculée pour un ménage moyen, en pondérant arbitrairement différents modes de transport. Le calcul d'accessibilité par catégorie de personnes n'est pas utilisable ici, puisqu'un ménage regroupe des personnes de différentes catégories.

L'intérêt de cette formule est qu'elle se prête à un calage et qu'elle permet de comparer le poids des différents facteurs explicatifs dans le modèle calé (le poids du facteur accessibilité par exemple sera exprimé par le rapport des quantités $e = \frac{ku U_i}{X_o}$ obtenues pour les zones où les valeurs obtenues sont la plus forte et la plus faible.

Les temps de transport nécessaires pour calculer l'accessibilité ont été obtenus par un test de trafic à Toulouse (où seule l'accessibilité en VP a été considérée) et par une enquête auprès des ménages dans les autres villes ; les autres données ont été obtenues auprès des services responsables de l'urbanisme.

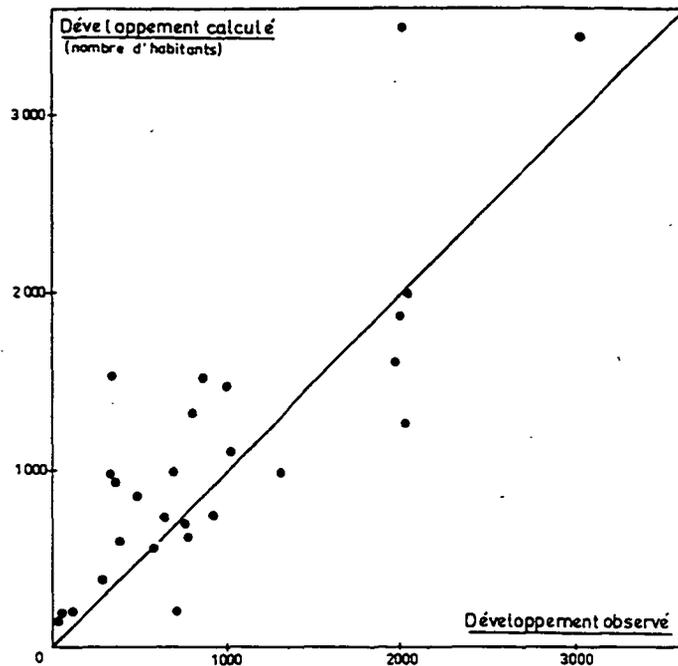
Les conclusions de ce travail peuvent être résumées comme suit :

a. Qualité des reconstitutions

Les résultats obtenus lors des reconstitutions sont indiqués ci-dessous (minimum obtenu pour l'erreur relative moyenne, ou maximum obtenu pour la corrélation) ; ces résultats sont comparés :

- d'une part, au résultat qu'aurait obtenu un modèle d'urbanisation prorata des sites disponibles (c'est-à-dire au hasard) ; on mesure ainsi l'amélioration apportée par les facteurs explicatifs considérés ;

- d'autre part, aux résultats cités par Pedersen [20] obtenus dans d'autres villes par d'autres modèles, avec indication du nombre de paramètres utilisés (la performance est d'autant meilleure que la corrélation est



Modèle utilisé:
$$h_i = H \frac{O_i A_i}{\sum O_j A_j}$$
 (modèle simple sans paramètre à ajuster)

Chaque point représente une zone. En cas de précision parfaite, les points devraient être sur la première bissectrice. L'erreur relative moyenne est ici d'environ 40%.

Figure 9. Exemple de comparaison entre urbanisation prévue et observée (Toulouse 1962-1968).

Tableau 4 - Performances des modèles d'urbanisation lors de calage sur des situations passées (comparaison entre urbanisations calculée et observée par zone)

	Coefficient de corrélation		Écart relatif moyen (%)	
	Modèle au hasard	Modèle calé (nombre de paramètres)	Modèle au hasard	Modèle calé
Toulouse 1962-1968	0,51	0,86 (2 par.)	61	37
Toulouse 1968-1973	0,73	0,85 (4 par.)	45	34
Grenoble 1968-1973	0,67	0,92 (4 par.)	non calculé	39
Nice 1968-1973	0,84	0,87 (2 par.)	34,8	34,8
Bordeaux 1968-1973	0,84	0,91 (5 par.)		
Philadelphie		0,94 (4 par.)		
Honolulu		0,65 (3 par.)		
Seattle		0,77 (5 par.)		
Paris		0,77 (5 par.)		
Greensborough		0,60 (5 par.)		
Copenhague 1960-1963		0,85 (6 par.)		
Copenhague 1963-1966		0,71 (6 par.)		

plus élevée avec un nombre de paramètres plus faible pour un nombre de zones comparables).

Malgré la rusticité du modèle, les résultats sont donc plutôt meilleurs que ce qui était attendu en fonction des expériences étrangères. Le modèle semble pouvoir garantir un coefficient de corrélation de 0,85 et une erreur relative moyenne de 35 à 40 % environ ; la figure 9 donne un exemple de comparaison à Toulouse entre urbanisation calculée et observée dans chaque zone.

Comme nous le verrons, il convient cependant d'interpréter avec prudence ce relatif succès.

b. Poids relatif de l'accessibilité parmi les facteurs explicatifs de l'urbanisation

Le poids relatif de l'accessibilité paraît en général important, mais inégal d'une ville à l'autre. Ainsi, à Toulouse, l'accessibilité (calculée pour la

voiture) rend compte à elle seule de presque toute l'urbanisation explicable par le modèle ; à Nice, son poids semble au contraire nul.*

c. Stabilité des résultats

D'une manière générale, les résultats concernant les paramètres de calage (pondérant les facteurs explicatifs de Vi) sont apparus assez instables :

- à l'intérieur d'une même ville et pour un même modèle, le résultat varie selon le point de départ utilisé dans l'algorithme d'optimisation, et aussi selon l'indicateur de performance (corrélation ou écart relatif moyen).

Ce phénomène semble dû au caractère très « plat » de l'optimum, un quasi optimum pouvant être atteint pour des combinaisons assez différentes des valeurs données aux paramètres de calage.

On peut expliquer cette instabilité par le fait que les facteurs explicatifs envisagés ne sont pas indépendants, et sont donc susceptibles de variations liées sans modification de la qualité de reconstitution. On peut aussi penser que certains facteurs importants de l'urbanisation ont été omis.

- D'une ville à l'autre, les valeurs optimales des paramètres peuvent aussi être très différentes ; elles peuvent même parfois prendre des valeurs imprévues (négatives). On peut imputer ce résultat à des différences réelles entre les villes mais aussi aux raisons déjà citées (substitution entre paramètres, omission de facteurs importants).

En conclusion, l'introduction des indicateurs d'accessibilité dans les modèles de développement urbain semble bien améliorer la performance de ces modèles ; mais elle ne permet pas, du fait de la haute complexité du phénomène d'urbanisation, d'aboutir à un modèle de prévision simple, fiable et universel.

* Il faut d'ailleurs noter que ce poids de l'accessibilité semble sous-estimé dans l'étude, compte tenu d'anomalies constatées sur le coefficient d'« espace par habitant ». Ce facteur « espace par habitant » était censé représenter la préférence des nouveaux citadins pour une urbanisation peu dense, aspect non pris en compte dans les autres facteurs ; or, le calage du coefficient correspondant a souvent donné une valeur négative. Ce paradoxe pourrait s'expliquer par le fait que l'accessibilité utilisée dans cette étude néglige l'accessibilité à pied (besoin de services à proximité immédiate) ; elle était en effet calculée à partir soit de temps en voiture, soit de temps moyen tous modes reflétant mal la situation des non-motorisés. Dans ces conditions, le coefficient d'espace négatif traduirait donc en fait un aspect particulier de l'accessibilité : le refus de vivre dans une zone trop peu dense dépourvue de services à portée de marche à pied.

7. Conclusion

Si les indicateurs d'accessibilité existent sous certaines formes depuis fort longtemps, ce n'est que récemment que diverses approches théoriques, notamment celle des modèles de comportement individuel, ont permis d'en expliciter la signification et de dessiner les contours d'un champ d'application particulièrement riche.

Dans le domaine des études de transport, il y a maintenant deux ans qu'ils ont commencé à être largement utilisés en France pour apprécier le service rendu aux usagers. Malgré certaines difficultés pratiques et les tâtonnements inévitables dans cette période de rodage, on peut dire que cette mise à l'épreuve a confirmé leur aptitude à l'utilisation pratique dans les études et même, sous des formes adaptées, au dialogue avec des non-spécialistes.

Les modalités de calcul et d'emploi peuvent maintenant faire l'objet de recommandations plus précises ; en particulier, le calcul par catégorie de personnes devrait maintenant être utilisé chaque fois qu'il sera utile d'étudier les effets distribués et sociaux des opérations de transport envisagées. On évitera ainsi l'emploi d'indicateurs qui, à force de vouloir refléter la situation de tout le monde, finissent par ne plus refléter celle de personne.

Dans les études d'évaluation, l'avantage essentiel de ces indicateurs est d'éviter les graves risques d'erreur que l'on court en confondant, comme on le fait parfois, gain de service rendu et gain de temps.

Dans le domaine des études de comportement, on peut dire que l'efficacité particulière des indicateurs d'accessibilité est maintenant démontrée expérimentalement ; elle est, de plus, expliquée par des modèles de comportement (du type de la théorie de l'accessibilité) qui montrent pourquoi accessibilité, choix de la destination, mobilité et motorisation sont intimement liés. Si les modèles gravitaires qui résultent de la théorie de l'accessibilité étaient déjà connus et utilisés, par contre les perspectives ouvertes dans la prévision de la mobilité ou de la motorisation paraissent assez nouvelles et prometteuses.

Dans le domaine des études d'urbanisation et de rente foncière, l'accessibilité joue un rôle important ; mais tant d'autres facteurs interviennent ici qu'il n'est guère possible d'espérer parvenir à des modèles aussi fiables et universels que pour la prévision du trafic.

Ni panacée ni gadget inutile, les indicateurs d'accessibilité, dont on perçoit mieux maintenant la puissance et les limites, prennent rang parmi les techniques de base de la planification urbaine et des études de transport.

Annexe :

modalités pratiques de calcul des indicateurs d'accessibilité

1. Les données nécessaires au calcul

Il faut, pour calculer les indicateurs d'accessibilité, se fixer au départ :

- le type de destination considérée (les Dj) ;
- la catégorie de personnes considérée, afin de calculer une matrice de coût (ou de temps) cij propre à cette catégorie ;
- le coefficient de résistance xo ;
- le niveau de référence Ao (pour le calcul de Ui) ;
- le temps de déplacement x caractérisant l'isochrone choisi (pour Ni).

2. Le type de destination

Le type de destination considéré correspond au type de besoin que l'on étudie (travail, achat, loisirs...) ou, en d'autres termes, au motif du déplacement.

On pourra ainsi, selon les besoins, considérer des destinations telles que : emplois totaux, emplois d'une catégorie donnée, places dans les écoles, commerces ou m2 de surface commerciale, salles de spectacle, cabinets médicaux, espaces verts...

Dans la pratique, et faute de disposer de données précises sur l'urbanisation on se limite souvent à calculer :

- l'accessibilité aux emplois (déplacements liés au travail) * ;
- l'accessibilité aux services ou emplois tertiaires (déplacement pour achats affaires, visites, loisirs...)

* Dans le cas particulier des déplacements travail, une correction devrait être effectuée en toute rigueur pour tenir compte des contraintes aux marges (6) : on remplace alors le nombre d'emplois Dj de chaque zone j par le nombre corrigé kj Dj ; Kj est le facteur correcteur d'attraction calculé, compte tenu des marges imposées, par le modèle de distribution gravitaire du trafic. Dans la pratique, on peut se passer de cette correction.

Tableau 1 - Exemple de coefficients de pénibilité par catégorie de personnes.

Catégorie	Part dans la population âgée de plus de 5 ans %	Actifs	Dont :	
			Inactifs non élèves	Élèves
1 - 6 à 30 ans, avec VP	2,9	2,6	0,3	0
2 - 6 à 30 ans, sans VP	34,5	8,3	3,2	23
3 - 30 à 60 ans, avec VP	15,5	13,4	2,1	0
4 - 30 à 60 ans, sans VP	28,7	13,9	14,8	0
5 - plus de 60 ans, avec VP ...	2,7	1	2,7	0
6 - plus de 60 ans, sans VP ...	15,7	2,3	13,4	0
Total.....	100	41,5	35,5	23

On notera que ces résultats expérimentaux sont conformes à ce que l'intuition aurait suggéré :

- la sensibilité à l'inconfort des deux-roues ou des transports collectifs s'accroît avec l'âge ;

- A l'intérieur d'une même classe d'âge, les coefficients de pénibilité (pour les modes autres que la voiture) sont relativement indépendants de la possession d'une voiture.

La seule exception concerne les jeunes, où le sous-groupe des possesseurs de voiture paraît plus sensible à l'inconfort du deux-roues que le sous-groupe des non-possesseurs de voiture.

En définitive, l'idée directrice d'une telle méthode est d'examiner les conditions de transport pour un citadin donné, et non pas, comme on le fait souvent, par un mode de transport donné. Chercher à refléter les situations de choix effectivement perçues par les citadins de diverses catégories implique que l'on prenne en compte, comme nous l'avons fait ici, tous les modes de transport éventuellement utilisables (y compris les deux-roues et la marche à pied, souvent négligés au profit de la voiture et des transports collectifs). L'alourdissement des calculs nous paraît largement compensé, dans bien des cas, par l'intérêt des conclusions que l'on peut ainsi établir ; des exemples en seront donnés plus loin.

6. Le paramètre x_0

Selon la théorie, le paramètre x_0 à utiliser dans les calculs d'accessibilité n'est autre que le paramètre similaire dans la fonction de distribution gravitaire du trafic.

Il est donc possible d'évaluer x_0 par calage des modèles de distribution de trafic à partir d'enquêtes auprès des ménages.*

De tels calages n'ont pu être effectués qu'au cours des toutes dernières années.

Nous avons vu en effet que le calcul d'accessibilité est surtout intéressant lorsque les conditions de transport sont exprimées en temps réel ou mieux en temps généralisé (ou coût généralisé) ; or, il se trouve que, dans le passé, on a surtout calé en France des modèles de distribution de trafic utilisant des distances à vol d'oiseau, c'est-à-dire précisément l'unité la moins intéressante pour les calculs d'accessibilité (cf. § 4.)

Il a donc fallu recalculer, à partir des enquêtes, les temps ou coûts de transport c_{ij} avec les unités adéquates, et reprendre le calage des modèles gravitaires sur cette base. La difficulté provient ici de la nécessité de caler le modèle séparément pour chacune des catégories de personnes envisagées ; ce calage par catégorie de personnes est en effet inutile lorsque l'on utilise les distances à vol d'oiseau, qui sont les mêmes pour tout le monde.

* On détermine x_0 comme suit, à partir d'une enquête ménage et pour une catégorie de personnes donnée :

- déterminer la matrice T_{ij} des déplacements des personnes considérées dans l'enquête ;
- Déterminer la matrice des coûts généralisés (par exemple) C_{ij} pour ces personnes ;
- Caler la valeur x_0 du coefficient de distribution gravitaire qui permet le mieux de reconstituer la matrice observée T_{ij} ; la fonction de distribution de trafic est ici :

$$f(c_{ij}) = e^{-\frac{c_{ij}}{x_0}}$$

Ce travail a été effectué au SETRA sur un certain nombre d'enquêtes, et permet de proposer les valeurs approximatives suivantes pour des catégories de personnes « moyennes » :

Tableau 2 - Valeurs moyennes du paramètre x_0 *

Unité adoptée pour c_{ij} et x_0	Valeur moyenne de x_0 pour un déplacement	
	Travail	Autres motifs
Coût généralisé en francs	2,40 F	1,70 F
Temps généralisé en heures	0,24 h	0,21 h
Temps réel en heures	0,16 h (0,13 - 0,20)	0,14 h (0,11 - 0,18)

7. Niveau de référence A_0

(pour le calcul de U_i)

Ce niveau de référence A_0 est purement conventionnel et peut être fixé arbitrairement dans chaque cas.

On vérifie d'ailleurs que, quand on compare deux situations en faisant la différence des indices U_i correspondants, la variable A_0 disparaît.

8. Temps caractéristique x de l'isochrone (calcul de N_i)

Ce temps ne doit pas être trop court (l'accessibilité serait alors très locale) ni trop long (l'accessibilité serait alors uniforme, proche du nombre total de destinations sur la ville).

On prend en général x voisin du temps moyen observé des déplacements (entre 15 et 25 mn).

* Pour le calage de x_0 en temps généralisé et en coût généralisé, les valeurs du temps admises ont été de 10 F/h (travail) et 8 F/h (autres motifs).

Les coefficients de pénibilité, calculés ville par ville, étaient très voisins de ceux du tableau 1.

Le calcul a été fait séparément pour les 6 catégories de personnes du tableau 1, mais les résultats ne sont pas très significativement différents d'une catégorie à l'autre.

3. Catégories de personnes

La population d'une ville n'est pas homogène, et vouloir calculer une accessibilité « moyenne » pour tous les habitants d'une zone n'aurait guère de sens. Pratiquement, le problème se pose au moment où il faut définir la matrice des temps ou coûts de transport cij ; en effet, il est clair que la gêne cij que représente un déplacement de i à j dépend étroitement des modes de transport dont dispose la personne considérée, et du confort qu'elle leur associe.

Pour faire un calcul qui ait un sens, il nous faut donc savoir :

- si la personne a une voiture ou non ;
- si elle peut utiliser facilement les deux-roues ou la marche, ce qui dépend surtout de l'âge.

Dans la pratique, il paraît obligatoire de distinguer les personnes motorisées de celles qui ne le sont pas (donc deux catégories de personnes au minimum) ; il est souhaitable de distinguer en outre les groupes d'âge.

4. Choix d'une unité pour les coûts ou temps de transport (cij)

Il convient de noter que l'unité retenue pour cij, le sera aussi pour xo, et que l'indicateur Ui sera également exprimé dans cette unité.

La gêne impliquée par un déplacement de i à j peut être mesurée de plusieurs manières :

a. en temps généralisé

Le temps généralisé tij entre i et j s'obtient en multipliant le temps réel par un coefficient de pénibilité dépendant de la personne et du mode de transport considérés, et en ajoutant le coût monétaire (transformé en temps équivalent par le biais d'une valeur du temps)*.

Cette formulation a l'avantage de tenir compte de beaucoup de facteurs de la gêne (temps, coût, pénibilité) et d'être très peu sensible à la valeur du temps (qui intervient seulement dans le deuxième terme, en général faible devant le premier).

b. en coût généralisé

Le coût généralisé s'obtient en multipliant le temps généralisé par la valeur du temps ; il a l'inconvénient d'être assez sensible à la valeur du temps employée.

c. en temps réel

Mesurer la gêne d'un déplacement en temps réel ne permet plus d'incorporer la pénibilité du mode, ce qui peut créer des biais considérables pour les personnes âgées. C'est cependant la solution la plus simple et la plus courante.

d. en distance à vol d'oiseau

A déconseiller : on perd à la fois l'effet de la pénibilité, l'effet de la motorisation et l'effet de l'éventuelle congestion sur le réseau routier.

5. Détermination des matrices de temps ou coût Cij

La matrice cij à considérer est celle des temps ou coûts de déplacement de la catégorie de personnes pour laquelle on veut calculer l'accessibilité.

Deux méthodes peuvent être pratiquées :

- une méthode approximative, par assimilation à un mode de transport ;
- une méthode plus rigoureuse, combinant les modes de transport utilisables par la personne considérée.

* Mathématiquement, le temps généralisé tij entre i et j s'écrit :

$$t_{ij} = k \theta_{ij} + \frac{\gamma_{ij}(s)}{T}$$

avec :

θ_{ij} = temps entre i et j (avec le mode utilisé),

k = coefficient, de pénibilité, pour la personne considérée, du mode utilisé,

γ_{ij} = coût monétaire du trajet (fonction du mode utilisé) et, éventuellement, du stationnement.

T = valeur du temps pour la personne considérée.

a. Calcul par mode de transport

Dans cette méthode, qui a été la plus pratiquée jusqu'à présent, les matrices de temps ou coût sont celles qui caractérisent un mode de transport (dans la pratique, on a surtout considéré ici la voiture particulière et les transports collectifs).

Ce calcul présente certes l'avantage de la simplicité, les matrices cij, par mode de transport étant assez faciles à obtenir. Il ne correspond cependant à une situation réellement vécue que pour des personnes qui utiliseraient, quoi qu'il arrive, le mode considéré. Il ne représente donc que de manière assez approximative la situation réelle de la plupart des citoyens, qui ont en général potentiellement accès à plus d'un mode de transport.

Par exemple, l'accessibilité en TC sous-estime l'accessibilité des citoyens non motorisés (qui peuvent préférer aller à pied ou éventuellement en deux-roues dans des zones proches non desservies par les TC) ; une accessibilité en VP sous-estime également l'accessibilité des personnes motorisées lorsqu'elles ont intérêt à prendre d'autres modes sur certaines liaisons (TC vers le centre par exemple, ou marche à pied pour des déplacements courts).

b. Calcul par catégorie de personnes

Pour remédier aux inconvénients signalés ci-dessus de l'emploi des temps « par mode de transport », il convient de tenir compte de l'éventail des modes de transport effectivement utilisables par chaque catégorie.

Une méthode plus rigoureuse mais plus complexe d'emploi a été proposée pour cela en 1975 [10]. L'idée générale consiste à supposer, pour chacune des zones de destinations possibles, que la personne considérée prendrait parmi les modes de transport auxquels elle a accès celui qui présente pour elle la moindre gêne cij.

Le calcul s'effectue comme suit, dans le cas par exemple où l'unité retenue est le temps généralisé :

1. calculer les matrices de temps et de coût monétaire par mode (indépendantes de la personne considérée en première approximation) ;

2. pour chaque catégorie d'usagers :

a. définir les paramètres propres à la catégorie considérée (coefficients k de pénibilité par mode de transport, valeur du temps) ; une méthode pour cela est décrite ci-dessous ;

b. calculer la matrice des temps généralisés par mode, (à l'aide par exemple de la formule du paragraphe 4 ci-dessus, note en bas de page).

c. sur chaque liaison, déterminer le mode ayant le moindre temps généralisé. La matrice des temps minimaux ainsi obtenue est la matrice caractéristique de la catégorie de personnes envisagée.

La principale difficulté dans la méthode qui vient d'être décrite réside dans la détermination des paramètres de pénibilité pour chaque catégorie*.

Ces coefficients k de pénibilité par mode de transport peuvent être calés à partir d'enquêtes auprès des ménages en supposant que chaque citadin a tendance à choisir le mode qui présente, pour lui, le plus faible temps ou coût généralisé. On considère pour cela l'ensemble des déplacements effectués par les personnes d'une catégorie donnée, et l'on ajuste des coefficients k moyens pour cette catégorie en essayant de faire en sorte que, sur chaque liaison, le mode ayant le moindre coût généralisé (fonction des k) soit aussi le mode le plus utilisé selon l'enquête.**

Ce travail a été effectué sur l'enquête de Nice, puis précisé sur d'autres enquêtes [11]. Six catégories de personnes ont été considérées, en croisant trois classes d'âge et deux classes de motorisation, avec une valeur du temps de 8 F/h (10 F/h pour les déplacements liés au travail). Les résultats, voisins dans les trois cas, permettent de proposer les valeurs moyennes suivantes à titre d'exemple :

* En ce qui concerne la valeur du temps, différentes méthodes classiques existent pour déterminer des ordres de grandeur raisonnables ; nous n'y reviendrons pas d'autant plus que les calculs d'accessibilité y sont relativement peu sensibles, au moins si l'on raisonne en temps généralisé.

** Cela revient finalement à caler un modèle de répartition entre modes de transport par catégorie de personnes, fondé sur l'hypothèse de comportement décrite ci-dessus. Les performances de ce modèle ont été testées [11] et paraissent meilleures que celles des modèles actuels de répartition modale.

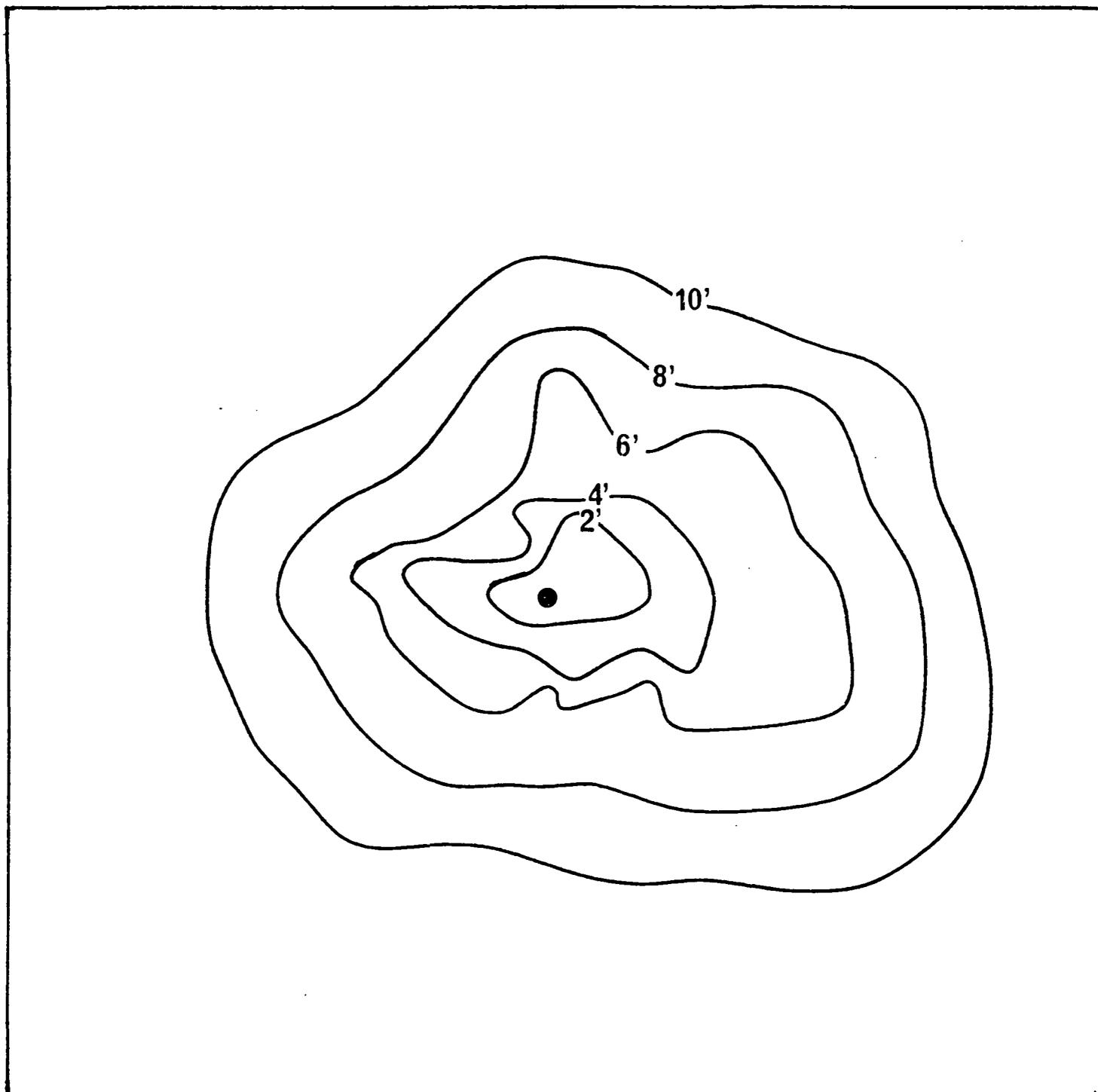
Bibliographie

- [1] Hansen. How accessibility shapes land use. (Journal of the american institute of planners, mai 1959).
- [2] Graves. Two multiple regression models of small area population change. (Highway Research Record n° 102, 1965).
- [3] Buchanan. Traffic in towns (rapport du groupe Buchanan). (HMSO, Londres, 1963).
- [4] Savigear. A quantitative measure of accessibility. (Town planning review, avril 1967).
- [5] Hutchinson. An approach to the economic evaluation of urban transportation investments. (H.R.B. Report n° 314).
- [6] Koenig. Théorie économique de l'accessibilité urbaine (SETRA, juin 1973, note de présentation et note mathématique ; Revue Économique, mars 1974).
- La théorie de l'accessibilité urbaine, un nouvel outil au service des aménageurs (Revue Générale des Routes, juin 1974).
- [7] Poulit. Approche économique de l'accessibilité (SETRA 1973).
Urbanisme et transport : les critères d'accessibilité et de développement urbain (SETRA, septembre 1974).
- [8] Neuberger. User benefit : transport and land use plans. (Journal of Transport Economics and Policy, janvier 1971).
- [9] I.R.T. L'accessibilité comme facteur de conception des réseaux de transport urbain. (Institut de Recherche des transports. Note du 27.3.1972 ; et Chapitre III des « Références méthodologiques pour les études à long terme de transports collectifs en site propre »).
- [10] Koenig. Calcul et représentation des indicateurs d'accessibilité. (in : Théorie de l'accessibilité urbaine, thèse de doctorat présentée à l'Université de Paris VI, juin 1975).
- [11] Giber et Mounet. Recherche de relation entre mobilité et accessibilité pour des catégories de personnes. (SETRA octobre 1975).
Giber. Analyse et prévision du trafic urbain. Recherche d'un modèle d'équilibre. Thèse de docteur ingénieur, Université de Paris, 6 septembre 1976.
- [12] Dunphy. Transit accessibility as a determinant of car ownership. (HRB record n° 472).
- [13] Ministère de l'Équipement. Direction des Routes. Guide technique des critères urbains (circulaire DRCR du 7.1.74)
- [14] Nakkash et Grecco. Activity. Accessibility models of trip generation. (HRB Record 392, 1972).
- [15] Zola. Pot-Bouille.
- [16] Boulet. Influence des infrastructures de transport sur l'urbanisation : cas de la branche Est du R.E.R. (Cahiers de l'IAURP, vol. 35, octobre 1974).
- [17] M.T Hart. Circulation et affectation du sol dans le secteur métropolitain d'Amsterdam. (Rapport de la 12^e semaine internationale d'étude technique de la circulation (OTA-AÏPCR, 1974).
- [18] Merlin. Modèles d'urbanisation. (Cahiers de l'IAURP, vol. 11, mai 1968).
- [19] Lannuzel. Indicateurs d'accessibilité appliqués au développement urbain. Test réalisé sur quatre agglomérations (SETRA ENPC, juin 1975).
- [20] Pedersen. Multivariant models of urban development. (Socio-Econ. Planning Science, vol. 1, pp 106-107, Pergamon Press ; 1967).

URBANISME ET TRANSPORT :

LES CRITERES D'ACCESSIBILITE

ET DE DEVELOPPEMENT URBAIN



ANNEXE 1

DEMONSTRATION DE LA SIGNIFICATION ECONOMIQUE DE L'ACCESSIBILITE

La distribution des échanges dans l'espace est significative de l'intérêt que les usagers résidant en i attribuent aux différentes destinations possibles en $j, h, k, \text{etc.}$

Deux distributions identiques révèlent deux situations de satisfaction identiques.

Interpréter la loi de distribution des déplacements revient donc à préciser la signification économique des déplacements urbains.

Formulation de la loi de distribution :

La loi de distribution des déplacements en milieu urbain s'énonce de la façon suivante :

La probabilité d'un déplacement à destination d'une zone j pour un motif donné (travail, loisirs, achats, etc...) est proportionnelle à la quantité de biens disponibles en j (emplois, loisirs, commerces, etc...) et à une fonction très rapidement décroissante (exponentielle décroissante) du coût généralisé de transport (C_{ij}) entre la zone d'émission i et la zone de destination j . On a :

$$p_{ij} = K Q_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}} \quad (1)$$

(C_0 représente le coût unitaire de l'heure de déplacement et α un facteur constant qui caractérise la rapidité de la décroissance de l'intérêt des destinations potentielles en fonction de leur éloignement de la zone origine i).

COMMENT S'EFFECTUE LA DISTRIBUTION DES DEPLACEMENTS ?

- PROPORTIONNELLEMENT AU NOMBRE DE BIENS DES ZONES RECEPTRICES
- PROPORTIONNELLEMENT A UNE FONCTION TRES RAPIDEMENT DECCROISSANTE DU COÛT GENERALISE DE DEPLACEMENT ENTRE i ET j

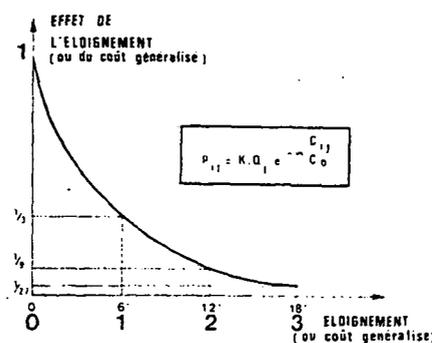
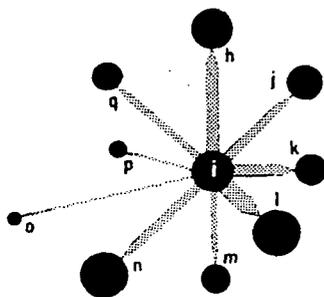


Fig.1

La loi de distribution des déplacements à partir de la zone émettrice i à destination de toutes les zones réceptrices $j, h, k, \text{etc.}$ qui l'entourent est à la base même de l'interprétation économique de l'accessibilité.

Interprétation de la loi de distribution

■ Considérons deux structures urbaines qui ne diffèrent que par le nombre de biens de la zone j (Q_j^1 dans le premier cas, Q_j^2 dans le deuxième cas) et par le coût généralisé d'accès à la zone j (C_{ij}^1 d'une part, C_{ij}^2 de l'autre ; la différence s'expliquant par exemple par l'instauration d'un péage à l'entrée de la zone j).

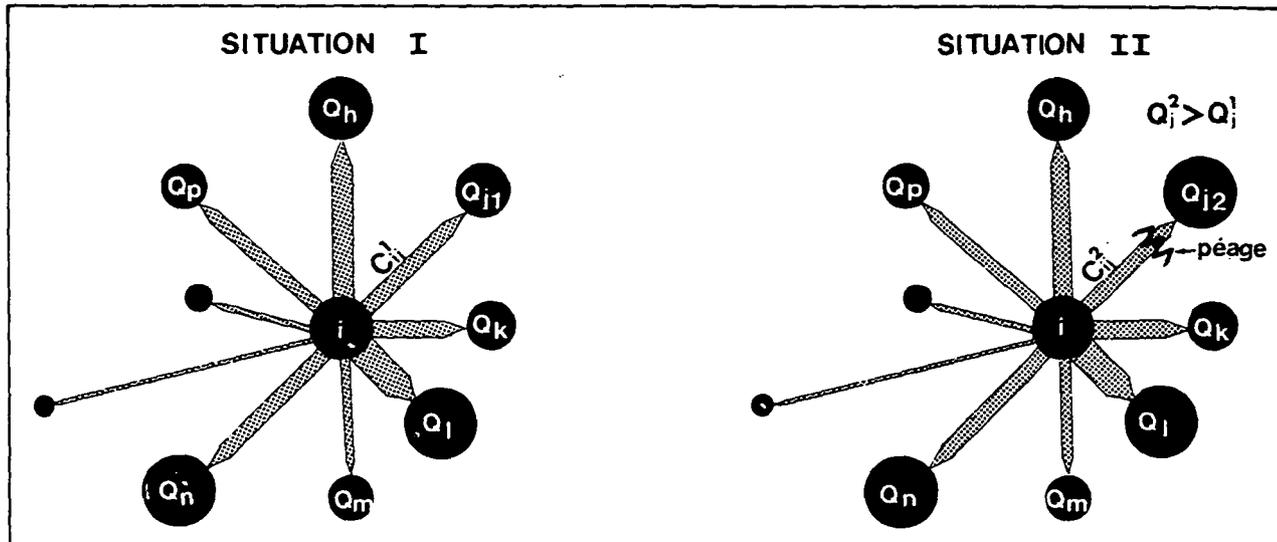


Fig. 2

La distribution des déplacements à partir de la zone d'émission i reste inchangée si l'instauration du péage sur la liaison ij est compensée par l'augmentation des choix à la destination j.

La stabilité du comportement de l'utilisateur est atteinte lorsque la relation suivante est vérifiée : $Q_j^1 e^{-\alpha \frac{C_{ij}^1}{C_0}} = Q_j^2 e^{-\alpha \frac{C_{ij}^2}{C_0}}$

La distribution des déplacements entre les différentes zones j, h, k, etc... n'a aucune raison d'être identique dans les deux cas, l'augmentation des choix offerts par la zone j n'étant pas exactement compensée par la dégradation de ses conditions d'accès.

Pour qu'il n'y ait pas modification du comportement de l'utilisateur, il faut en réalité que la probabilité de déplacement vers j dans les deux cas soit identique ou encore que $P_{ij}^1 = P_{ij}^2$

C'est-à-dire que : $Q_j^1 e^{-\alpha \frac{C_{ij}^1}{C_0}} = Q_j^2 e^{-\alpha \frac{C_{ij}^2}{C_0}} \tag{2}$

Cette expression peut également s'écrire en en prenant le logarithme :

$$\frac{C_0}{\alpha} (\text{Log } Q_j^2 - \text{Log } Q_j^1) = C_{ij}^2 - C_{ij}^1 \tag{3}$$

Soit $\frac{C_0}{\alpha} \Delta(\text{Log } Q) = \Delta C \tag{4}$

Ainsi pour que le comportement de l'utilisateur ne change pas, il suffit que l'augmentation des coûts de transport ΔC soit compensée par une augmentation corrélatrice de l'indice de choix représenté par la valeur $\frac{C_0}{\alpha} \Delta(\text{Log } Q)$.

■ L'expression (4) peut s'écrire sous une forme encore plus concise.

Posons : $S_{ij} = \frac{C_0}{\alpha} \text{Log } A_{ij} \tag{5}$

expression dans laquelle A_{ij} représente (au coefficient k près) la probabilité de déplacement de i vers j ($Q_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}}$).

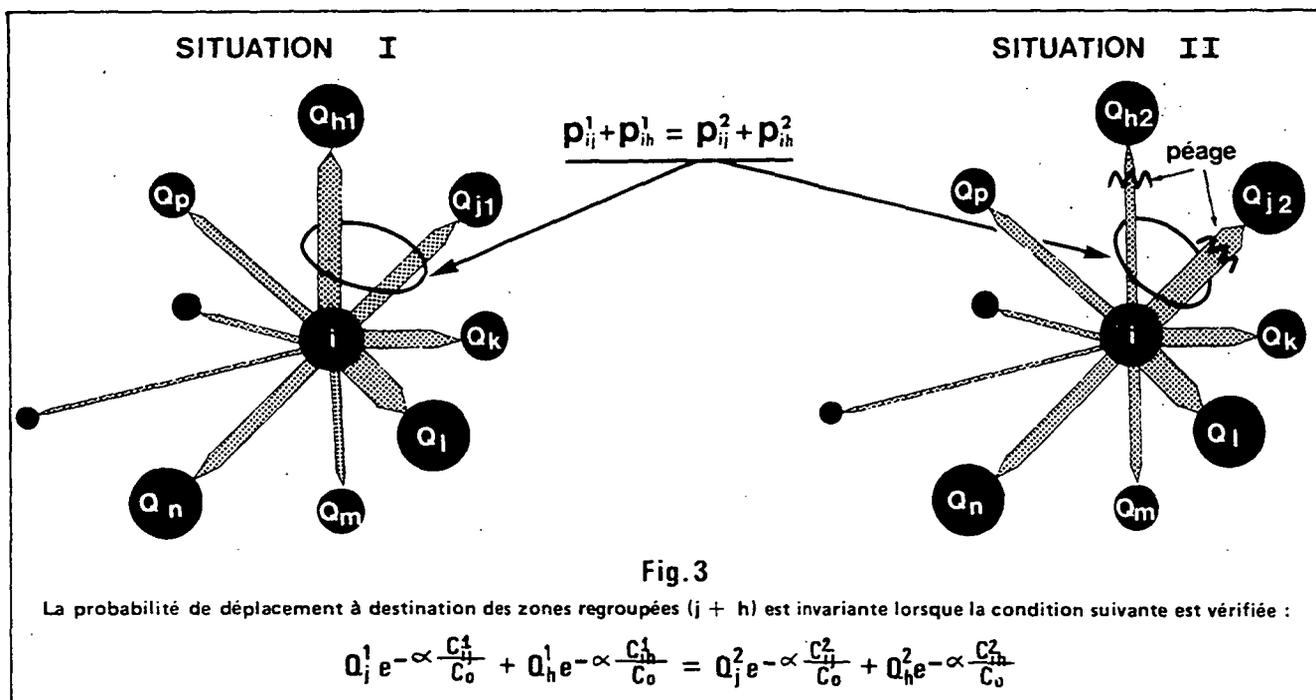
On a : $S_{ij} = \frac{C_0}{\alpha} \text{Log } Q_j - C_{ij} \tag{6}$

L'expression (4) devient alors : $\Delta S_{ij} = 0$ (7)

S_{ij} est ainsi une grandeur homogène à un coût - ou inversement à un bénéfice qui est invariante lorsque le comportement de l'utilisateur ne change pas.

Elle caractérise donc bien, à une constante près, l'utilité que l'utilisateur issu de i attribue à son déplacement à destination de j , (ou encore la satisfaction qu'il en retire).

■ L'analyse qui précède peut être étendue à l'évaluation de l'utilité des déplacements à destination de deux zones j et h dont on modifierait les caractéristiques d'urbanisation et les conditions d'accès sans apporter de changement aux autres zones de l'agglomération.



On constate dans ce cas que la probabilité de déplacement à destination des zones regroupées ($j+h$) est invariante lorsque la somme des probabilités de déplacements à destination de j et de h est elle-même invariante, c'est-à-dire lorsque :

$$Q_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}} + Q_h e^{-\alpha \frac{C_{ih}}{C_0}} = \text{Constante} \quad (8)$$

Appelons $A_{i(j+h)}$ cette expression.

$\frac{C_0}{\alpha} \text{Log } A_{i(j+h)}$ est la seule grandeur homogène à un coût qui soit, comme $A_{i(j+h)}$, invariante lorsque la probabilité des déplacements à destination des zones regroupées ($j+h$) est inchangée. Elle représente donc bien l'utilité que l'utilisateur attribue aux déplacements à destination de $j+h$.

■ Par additions successives, on peut ainsi montrer que l'utilité qu'un usager résidant en i attribue à ses déplacements à destination de l'ensemble des zones qui l'entourent est égale à :

$$S_i = \frac{C_0}{\alpha} \text{Log } A_i \quad (\text{à une constante près}) \quad (9)$$

expression dans laquelle : $A_i = \sum_{j=1}^n Q_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}}$ (10)

.../...

Rappelons que : Q_j représente le nombre de biens (emplois, commerces, etc..., suivant les motifs considérés) compris dans la zone j et que C_{ij} représente le coût généralisé de déplacement entre le lieu de résidence i et le point de destination j (1).

■ Cette valeur caractérise l'utilité moyenne d'un déplacement issu de i .

Elle peut être traduite en utilité annuelle, en multipliant S_i par le nombre de déplacements annuels effectués : N

$$\text{On a : } \boxed{\bar{S}_i = NS_i}$$

Cette multiplication se justifie par le fait que S_i est homogène à un coût et que les coûts de déplacement sont effectivement additifs. Il n'en serait pas, par contre, de même si on avait considéré les accessibilités A_i qui, elles, ne peuvent pas être multipliées par le nombre de déplacements effectués.

PRISE EN COMPTE DES EFFETS DE CONCURRENCE ENTRE
ZONES POUR LE CALCUL DES INDICES D'ACCESSIBILITE

La loi de distribution interzones : $T_{ij} = K P a_i E_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}}$

caractérise intégralement le comportement de l'usager lorsque l'urbanisation est homogène c'est-à-dire lorsque les caractéristiques démographiques et économiques de chaque zone sont identiques.

Par contre, lorsqu'il n'en est pas ainsi, des effets de concurrence entre zones apparaissent. Ces effets de concurrence peuvent être illustrés de la façon suivante:

Si une zone d'activité j se trouve à proximité de très importantes zones résidentielles, les emplois qu'elle peut offrir aux actifs de ces zones sont rares. Le choix est donc réduit ; il est en tout cas inférieur au choix moyen calculé sur l'ensemble de l'aire agglomérée qui, elle, comporte autant d'actifs que d'emplois.

En appliquant brutalement la loi générale de distribution des déplacements,

$(T_{ij} = \frac{1}{A_i} P a_i E_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}})$

on trouverait que le nombre d'actifs qui désirent se rendre en j en provenance de toutes les zones résidentielles qui entourent cette zone d'activité est supérieure à E_j .

Pour que le nombre d'actifs ne dépasse pas E_j , il faut appliquer aux emplois de la zone j un coefficient de rareté b_j (inférieur à 1) qui diminue donc leur attractivité et permet de rétablir statistiquement l'égalité entre actifs et emplois offerts.

Si inversement, la zone d'activité est très étendue et se trouve entourée de zones résidentielles de taille modeste, les actifs désirant se rendre en j seront moins nombreux que les emplois offerts. Pour que tous les emplois soient occupés, il est nécessaire de leur appliquer un coefficient de surplus (supérieur à 1) qui augmente donc leur attractivité.

Les mêmes remarques s'appliquent mais en sens inverse aux zones résidentielles vis à vis des zones d'emplois.

Il convient dans ce cas de multiplier le nombre d'actifs de chaque zone i ($P a_i$) par un coefficient de rareté ou de surplus a_i .

Les coefficients a_i et b_j sont effectivement introduits dans les modèles de distribution de trafic. Ils permettent de résoudre la triple série d'égalités suivantes sur lesquelles repose la distribution des déplacements lorsque des contraintes de marge interviennent, c'est-à-dire lorsque les émissions et les attractions sont imposées, ce qui est le cas notamment pour les déplacements domicile-travail.

On a
$$T_{ij} = \frac{1}{A_i} a_i P a_i b_j E_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}} \quad (I)$$

Avec
$$\sum_i T_{ij} = P a_i \quad (II)$$

Et

$$\sum_i T_{ij} = E_j$$

(III)

L'absence des coefficients a_i et b_j interdirait la résolution du système complet, le nombre d'équations étant supérieur au nombre d'inconnues.

On peut montrer que les coefficients a_i et b_j tendent vers 1 (et disparaissent donc) lorsque la densité d'urbanisation est constante. Dans tous les autres cas, les contraintes de marge (équations II et III) interviennent et les coefficients de rareté ou de surplus doivent être introduits, ce qui est en fait naturel, l'homogénéité de la répartition des activités et des résidences n'étant plus respectées, ce qui a pour effet de faire jouer la concurrence entre zones proches.

Le comportement de l'utilisateur constituant le fondement même du calcul de l'utilité attribuée aux déplacements, on en déduit que les indices d'accessibilité doivent prendre en compte, dans le cas général d'urbanisations hétérogènes, les actifs et les emplois pondérés respectivement par les coefficients de rareté ou de surplus a_i et b_j .

On a ainsi:

$$A_i = \sum_{j=1}^n b_j E_j e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}} \quad (\text{vis à vis des emplois})$$

$$A_j = \sum_{i=1}^n a_i P a_i e^{-\alpha \frac{C_{ij}}{C_0}} \quad (\text{vis à vis des actifs})$$

ANNEXES 3 et 4

DECOMPOSITION DE L'INDICE D'ACCESSIBILITE EN UN INDICE DE CHOIX
($\lambda \text{ Log } Q_{90}$) ET EN UN COUT GENERALISE MOYEN DE TRANSPORT (C_i)

Les calculs justificatifs de cette décomposition sont donnés dans la brochure technique intitulée : Approche économique de l'accessibilité urbaine - Janvier 1973 - à laquelle le lecteur pourra se reporter. Les calculs s'appliquent successivement au cas d'une urbanisation homogène indéfinie et à celui d'une urbanisation hétérogène.

ANNEXE 5

CALCUL DE LA PROGRESSION DES INDICES SALARIAUX EN FONCTION DE LA TAILLE DE
L'AGGLOMERATION

Définitions :

R : Revenu d'un actif

N_1 : Nombre de déplacements annuels effectués par un actif pour le motif travail

C_0 : Coût attribué par un actif à une heure de déplacement (frais monétaires de transport exclus). C_0 varie en fonction du niveau de vie de l'individu et donc en fonction de la taille de l'agglomération.

α : Coefficient caractérisant l'effet d'atténuation de la distance dans la distribution des déplacements. α constant quelque soit la catégorie socioprofessionnelle est environ de 3,5 à 4.

$\text{Log } E_{90}$: Indice de choix lié au marché des emplois dans une application donnée.

R_0 : Rémunération de base d'un actif isolé (agglomération de très faible taille).

Problème posé et solution

On peut constater expérimentalement que la progression de l'indice de choix $N_1 \left(\frac{C_0}{R} \text{Log } E_{90} \right)$ en fonction de la taille d'une agglomération est sensiblement parallèle à celle du salaire moyen d'un actif.

Ce résultat présenté sur la figure 4 ci-jointe tient compte du fait que le coût attribué par un usager à son heure de transport C_0 est fonction de son niveau de vie (salaire) et croît donc lui-même avec E_{90} la taille de l'agglomération. Dans le cas contraire, la progression de l'indice de choix serait linéaire en coordonnées semi-logarithmiques et ne pourrait donc être parallèle à celle des salaires.

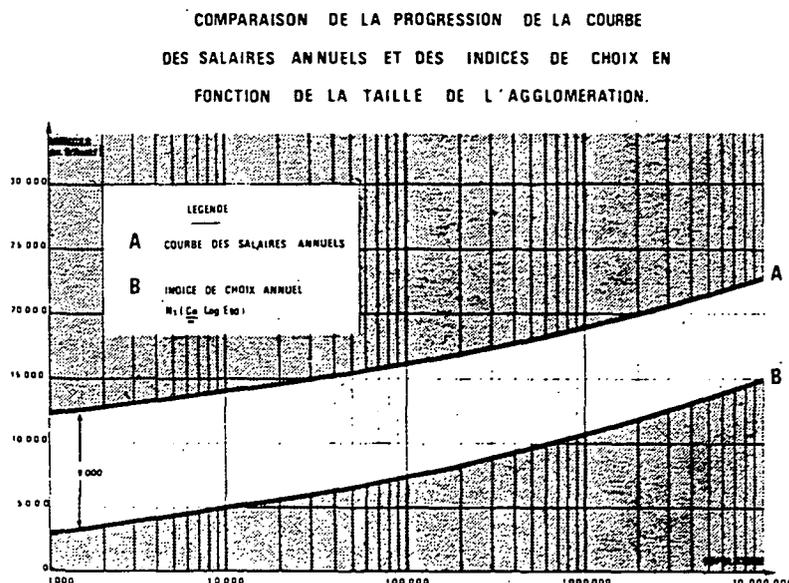


Fig. 4

Les courbes A et B sont d'un étonnant parallélisme. Ce résultat confirme que l'indice de choix a une signification économique précise. Dans le domaine des déplacements domicile - travail, il traduit le supplément de salaire dont bénéficie un actif devant lequel s'ouvre un marché de l'emploi élargi.

Pour déterminer l'expression mathématique de la loi de progression des indices de choix et des salaires en fonction de la taille de l'agglomération, il suffit d'admettre que l'égalité entre R et l'indice de choix est réalisée (à une constante près : le salaire base R_0).

$$\text{Posons donc : } R = R_0 + N_1 \frac{C_0}{\alpha} \text{Log } E_{90}$$

R_0 représente le salaire de base en hypothèse d'absence de concentration d'activités (1 emploi) (environ 9 000 F/actif en F. 1970)

et $N_1 \frac{C_0}{\alpha} \text{Log } E_{90}$ est égal à l'indice de choix annuel d'un actif.

Comme nous l'avons déjà remarqué, le coût de l'heure de transport C_0 n'est pas indépendant du salaire de l'actif R. En effet, les enquêtes montrent que l'usager attribue à son heure de transport une valeur proche des 2/3 de la rémunération de son heure de travail. Le nombre d'heures de travail étant de l'ordre de 2 200 par an, on a donc :

$$C_0 = \frac{R}{2200} \times \frac{2}{3}$$

De plus N_1 : nombre de déplacements annuels effectués par un actif pour le motif travail est voisin de 500 et α est compris entre 3,5 et 4.

On en déduit que :

$$R - R_0 = 500 \frac{R}{2200} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{3,75} \text{Log } E_{90}$$

$$R - R_0 = \frac{R}{25} \text{Log } E_{90}$$

$$R \left[1 - \frac{\text{Log } E_{90}}{25} \right] = R_0$$

$$R = \frac{25 R_0}{25 - \text{Log } E_{90}}$$

Ou encore en logarithme de base 10

$$R = \frac{25 R_0}{25 - 2,3 \log_{10} E_{90}}$$

$$R \approx \frac{11 R_0}{11 - \log_{10} E_{90}}$$

On retrouve bien :

$$\text{pour } E_{90} = 1 \quad R = R_0 \quad (1)$$

(1) Rappelons que $R_0 = 9000$ F/an en 1970

En admettant que E_{90} est en moyenne égal à $0,3P$, on obtient :

$$R = \frac{11 R_0}{11,5 - \log_{10} P}$$

Cette courbe est quasiment identique à celle publiée par l'I.N.S.E.E., résultat qui valide donc l'hypothèse a priori de l'égalité entre l'indice de choix et le salaire R (à une constante près R_0). Précisons toutefois que cette formulation repose sur plusieurs paramètres dont la valeur n'est connue qu'avec une certaine précision. Ainsi le rapport $k = 2/3$ entre le coût de l'heure de transport et le coût de l'heure de travail n'est qu'indicatif. De même le coefficient α varie d'une enquête à l'autre, les résultats de la distribution des déplacements étant assez peu sensible à ce facteur.

D'après les renseignements actuellement disponibles, α peut être compris entre 3 et 4,5, donc s'étendre sur une plage assez grande. Nous avons en fait implicitement admis que le rapport $\frac{k}{\alpha}$ était voisin de 0,17 à 0,18. En adoptant cette valeur qui ne présente aucune invraisemblance, la courbe des salaires en fonction de la taille de l'agglomération peut être reconstituée avec une excellente précision.

Cela signifie en sens inverse que la qualité de cette reconstitution laisse présumer que le facteur $\frac{k}{\alpha}$ choisi est satisfaisant et que les paramètres k et α doivent être liés entre eux par un rapport voisin de 0,18.

Tous les autres facteurs utilisés dans les calculs sont cohérents.

On peut par exemple vérifier que le salaire moyen d'un actif dans une agglomération de 100 000 habitants (16 000 F en 1970) conduit à un salaire horaire de $\frac{16\ 000}{2\ 200} = 7,5$ F et à un coût de l'heure de transport de 5 F. Dans l'agglomération parisienne, on trouverait dans les mêmes conditions 24 000 F, 10,90 F et 7,25 F. Ces valeurs sont tout à fait conformes aux normes habituellement admises.

La formule $R \simeq \frac{11 R_0}{11 - \log_{10} E_{90}}$ présente de ce fait une grande homogénéité et par voie de conséquence un haut degré de certitude malgré l'imprécision de certains des paramètres qui ont aidé à l'établir.

OUVRAGES DISPONIBLES AU CDAT (SES)

12474

REGGIANI (A)

Accessibility, Trade and Locational Behaviour

Ashgate

1998

12028

SNCF Direction de la stratégie

LESOURNE (J)

Annales 1997.

1998

11247

SES, CETE Ouest, CETE Nantes

Nantes, 7 ans après l'arrivée du TGV Atlantique.

1997

11404

DIRECTION DES TRANSPORTS TERRESTRES

DELAHAIE

Enjeux et impacts de la gare de Massy-TGV.

1997

11504

BELGIQUE Eurocités Bruxelles, FEDERATION NATIONALE DES ASSOCIATIONS D'USAGERS DES TRANSPORTS, CEE, PAYS-BAS Euricur Rotterdam

Le train à grande vitesse au service du développement et de l'aménagement des métropoles européennes. Etude comparative sur les stratégies d'accueil du train à grande vitesse dans les agglomérations.

1997

11734

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE

CHATELUS (G)

Accessibilité interrégionale. Théorie et exemple d'application à l'échelle européenne.

1997

11870

ETATS-UNIS Department of transportation Bureau of transportation Statistics

Transportation statistics. Annual report 1997. Mobility and access.

1997

11967

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE

USTER (G), DEJAMMES (M)

Amélioration de l'accessibilité de l'autobus à plancher surbaissé : une approche système.

1997

11971

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE
HEDDEBAUT (O)
, REYNAUD (C)
, CHATELUS (G)

Grandes infrastructures de transport et territoires. Colloque des 8 et 9 juin 1995.
1997

12322

CENTRE D'ETUDES SUPERIEURES D'AMENAGEMENT Laboratoire de recherche, DIRECTION DES
TRANSPORTS TERRESTRES, OEST
MATHIS (P), BAPTISTE (H), LARRIBE (S), CHAPELON (L), L'HOSTIS (A), SERRHINI (K)
Etude grille de niveau de service réalisée dans le cadre de l'évaluation des schémas directeurs de transports collectifs.

1997

2874

OCDE

Indicateurs de performance dans le secteur routier. Recherche en matière de routes et de transport routier.
1997

6783

CONSEIL NATIONAL DES TRANSPORTS

Rapport annuel du Comité de liaison pour le transport de personnes handicapées. Rapport annuel 1988 à 1995 (24ème éd.)

Evolution de l'accessibilité des transports. Rapport annuel avril 1996 à juin 1997.
1997

10576

INSTITUT D'AMENAGEMENT ET D'URBANISME DE LA REGION ILE-DE-FRANCE, ARTHUR D LITTLE,
DIRECTION GENERALE DE L'AVIATION CIVILE
DOUFFIAGUES (J)

Mission d'étude de la desserte aéroportuaire du grand bassin parisien. A - Rapport. - 155 p. B - ann. Rapport au Ministre de l'équipement et au Secrétaire d'Etat aux transports.
1996

10630

DRE Picardie Observatoire Régional des Transports, CETE Nord Picardie, SNCF, VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

Atlas régional des transports.

Tome 1 : l'accessibilité par la route et par le fer.

Tome 2 : les dessertes des principaux pôles urbains par autocar et par train.

1996

10732

DIRECTION DES TRANSPORTS TERRESTRES, DIRECTION DES ROUTES

Corridor Nord. Etude intermodale à l'horizon 2010. Etude réalisée avec le concours de l'OEST.
1996

10770

CENTRE D'ETUDES SUR LES RESEAUX LES TRANSPORTS L'URBANISME ET LES CONSTRUCTIONS PUBLIQUES

Plans de déplacements urbains.

1996

11137

CENTRE D'ETUDES SUR LES RESEAUX LES TRANSPORTS L'URBANISME ET LES CONSTRUCTIONS
PUBLIQUES, AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE, GROUPEMENT DES
AUTORITES RESPONSABLES DE TRANSPORT

Les arrêts de bus dans leur contexte urbain.

1996

11141

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE
DEJEAMMES (M)

Les transports et les personnes à mobilité réduite. Journée spécialisée du 14 mars 1996 à EUREXPO (Chassieu)

1996

11264

MINISTERE DE L'ECONOMIE Direction des relations économiques extérieures Poste d'expansion économique La
Haye

EDELAAR (F)

Les transports urbains aux Pays-Bas.

Tome 1 - Politique et grands projets.

1996

11325

FEDERATION INTERNATIONALE MOTOCYCLISTE, ASSOCIATION DES CONSTRUCTEURS EUROPEENS
DE MOTOCYCLES

DIEKMANN (A)

External costs and benefits of powered two-wheelers.

1996

11348

AFCET, AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

**APM 96. Les transports collectifs automatiques en marche vers le 21ème siècle. Volume 1. (5ème colloque
international sur les transports collectifs automatiques. 10 - 14 juin 1996)**

1996

11475

EUROPEAN PARTNERS FOR THE ENVIRONMENT, PARTENAIRES EUROPEENS POUR
L'ENVIRONNEMENT

**Transport privé et public, mobilité, communication et enjeux urbains. Série des guides EPE pour le
développement durable en Europe.**

1996

10268

FRANCK (G)

**Pour une stratégie coordonnée des ports du Havre, de Rouen et de Dieppe. Rapport au Directeur des ports et de
la navigation maritime et au Préfet de la région Haute-Normandie.**

1995

10388

CEE

Un réseau pour les citoyens. Comment tirer parti du potentiel des transports publics de passagers en Europe.

1995

10403

DRE Languedoc-Roussillon, BUREAU CENTRAL D'ETUDES POUR LES EQUIPEMENTS D'OUTRE MER

Le transport de voyageurs en Languedoc-Roussillon. Desserte des territoires et accessibilité. Diagnostic 1995.

1995

11567

UNIVERSITE Aix Marseille I UFR des sciences géographiques et de l'aménagement

MANNONE (V)

L'impact régional du TGV Sud - Est.

Tome 1. p p. 1-285.

Tome 2. p p. 286-567.

1995

11093

CONSEIL GENERAL DES PONTS ET CHAUSSEES

TIXIER (J), QUINCHON (C), PAPINUTTI (M), DEMOULIN (J), GUIGNABEL (G), LAMURE (C), HUART (Y),
ORUS (JP), DUMARTIN (G), DANZANVILLIERS (P), SAUVANT (A), DOMERGUE (P), GIRAULT (M), DUMON
(P), BELMAIN (M), PICARD (B), MORELLET (O), WACHENHEIM (M), DISSLER (F), QUINET (E)

**Evaluation des investissements de transport. Journées techniques des 6 et 7 avril 1995 sur les études
interurbaines. Exposés introductifs et propositions des six ateliers.**

- Les méthodes de prise en compte de la congestion,
- La prise en compte des effets sur l'environnement,
- La prise en compte des effets sur l'aménagement du territoire,
- Situation de référence, investissements étudiés et hypothèses alternatives,
- Les déterminants des prévisions de trafic,
- Les études de sensibilité et les données intermodales nécessaires.

1995

11093

DIRECTION DES ROUTES, OEST, SNCF, DIRECTION GENERALE DE L'AVIATION CIVILE, INSTITUT
NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE, ECOLE NATIONALE DES
PONTS ET CHAUSSEES, CONSEIL GENERAL DES PONTS ET CHAUSSEES, SERVICE D'ETUDES
TECHNIQUES DES ROUTES ET DES AUTOROUTES, DIRECTION DES TRANSPORTS TERRESTRES,
SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES

TIXIER (J), QUINCHON (C), LENOIR (N), DISSLER (F), LAMURE (C), QUINET (E), HUART (Y), ORUS (JP),
DUMARTIN (G), SAUVANT (A), DOMERGUE (P), GIRAULT (M), DUMON (P), BELMAIN (M), HUART (Y),
PICARD (B), MORELLET (O)

**Evaluation des investissements de transport. Journées techniques des 6 et 7 avril 1995 sur les études
interurbaines.**

1995

9977

CEMT

L'accès au voyage par avion pour les personnes à mobilité réduite.

1995

10059

CNRS, UNIVERSITE Rouen

DENAIN (JC), GUERMOND (Y)

Accessibilité ferroviaire sur les deux rives de la Manche.

1994

7937

CEE Parlement européen Direction générale des études, ITHAQUE

Les aspects sociaux de la politique commune des transports.

1994

9818

AURAY (JP), BAILLY (A), DERYCKE (PH), HURIOT (JM), BESSE (JM), GANNON (F), BEGUIN (H), DUPUY(G), THISSE (JF), CATIN (M), JAYET (H), ANDAN (O), FAIVRE D'ARCIER (B), RAUX (C), MAILLAT (D), PAELINCK (J), BERTOLINI (G), SALLEZ (A), BONNAFOUS (A), PUMAIN (D), HURIOT (JM), MAILLAT (D), FUJITA (M), PAPAGEORGIOU (Y), PEETERS (D), BILLOT (A), DEROGNAT (I), VILLENEUVE (P)

Encyclopédie d'économie spatiale. Concepts, comportements, organisation.

1994

9959

NIJKAMP (P)

New borders and old barriers in spatial development.

1994

10475

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE, UNIVERSITE Paris I MORCELLO (E)

Une approche de l'accessibilité par le coût généralisé : l'exemple de l'Europe occidentale.

1993

10493

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE, UNIVERSITE Paris IX Dauphine

BOCQUET (D), BOUDARD (P)

Recherche et calcul d'indicateurs d'accessibilité.

1993

10734

CONSEIL GENERAL DES PONTS ET CHAUSSEES

QUIN (C), MERLET (Y)

L'amélioration de l'information et de la qualité de service dans les réseaux de transports collectifs. Affaire 92-210.

1993

3682

BANQUE MONDIALE

CREIGHTNEY (CD), TAROUX (JP)

Transport et performance économique. Une étude des pays en développement, (interne)

. Traduction synthétique : JP Taroux.

1993

6413

CEMT

Activités de la conférence. 39ème rapport annuel 1992. Résolutions du conseil des Ministres des transports et rapports approuvés en 1992. Rétrospective sur l'évolution des transports de 1970 à 1991.

1993

9528

ESPAGNE Ministerio de obras publicas

Los problemas del transporte metropolitano. Un analisis de casos.

1993

4574

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE

L'autobus urbain : évaluation des solutions d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

1992

8965

INSTITUT D'AMENAGEMENT ET D'URBANISME DE LA REGION ILE-DE-FRANCE, CONSEIL REGIONAL Ile-de-France, REGION Ile-de-France, GRANDE-BRETAGNE London research centre POMMELET (P)

Paris-Londres. Une comparaison des systèmes de transport.
1992

9783

WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH
Sixième conférence mondiale sur la recherche dans les transports.
Thème F. Occupation du sol et transport.
Session jointe 05. Grands projets et structuration des villes.
Special interest group 1. Transport et utilisation de l'espace.
1992

3327

CHESNAIS (M)

Réseaux en évolution. Représentation systémique des réseaux dans leur environnement. Vol.1.
1991

6705

GROUPEMENT DES AUTORITES RESPONSABLES DE TRANSPORT
11 èmes journées annuelles. Notes introductives aux ateliers.
1991-11

8403

CEMT

Transport de personnes à mobilité réduite. Examen des dispositions et des normes relatives à la planification des voyages et à l'accès des piétons.
1990

8468

PAYS-BAS

Deuxième schéma de structure pour les transports et la circulation aux Pays-Bas.
1990

8472

LLOYD ANVERSOIS

Anvers renforce sa position centrale en Europe. Journées portes ouvertes du port d'Anvers 1990.
Lloyd Supplément
1990

8516

CONSEIL NATIONAL DES TRANSPORTS

Rapport sur le projet de schéma directeur national des liaisons ferroviaires à grande vitesse. 33 p. Avis des Conseils régionaux et des Comités régionaux des transports.
1990

8477

LABORATOIRE DE RECHERCHE EN ECONOMIE APPLIQUEE, EMERGENCES

GABET (J)

, LEMETTRE (JF), TABARD (N), GUIEYSSE (L), RABARDEL (D), HERVY (G), BERDUCOU (J), ROHOU (JL), COLOGAN (H), GERARDIN (B), CATOIRE (JC), QUIN (C), BESSAY (G), GRENET (F), RESMON(D), DUCHE (T), CARRE (D), MALEZIEUX (J), DEBATISSE (D), MESPLEDE (JC)

Les transports ferroviaires en Ile-de-France. Enjeux et perspectives.
1989

6797

Docar CAD2-255

DELEGATION A L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET A L'ACTION REGIONALE

ROO (P de), LABORIE (JP)

Atlas de l'aménagement du territoire.

1988

9695

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE, LABORATOIRE
ERGONOMIE SANTE CONFORT

DEJEAMMES (M), FLORES (JL), BLANCHET (V)

Capacités fonctionnelles motrices d'une population : répercussion sur l'accessibilité des transports collectifs.

1988

8065

OEST

REYNAUD (C)

Le transport dans une valorisation des économies locales.

1986

4482

SAEI, METRA

ROY (B)

Elaboration de critères permettant une intégration des divers aspects liés au temps dans l'aide à la décision en matière de transport. 3

Vol. A - 1ère phrase : rapport général. - 77 p. , bibliogr.

B - Annexe A : approches théoriques pour l'appréhension du temps.

C - Annexe B : les problèmes supports. - 124 p.

D - ROY (B), JACQUET LAGREZE (E), BLANCHER (M). - 2ème phase. - 1977

1977, 1975-08

3270

INSTITUT DE RECHERCHE DES TRANSPORTS

Les transports publics et l'usager.

Vol. 1 - Communications présentées au colloque international tenu à Paris les 16, 17 et 18 avril 1975.

Vol. 2 - Liste des participants.

1975 INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE

Typologie d'accidents dans le domaine des transports guidés.

Revue Générale des Chemins de fer n° 3

1998-03

PINTO BARTOLI (S), ABREU SA FORTES (JA)

Le système d'information géographique comme instrument d'évolution de l'accessibilité des voyageurs au transport public par autobus.

Transports n° 285

1997-10

USTER (G), DEJEAMMES (M)

L'accessibilité des autobus urbains aux personnes à mobilité réduite.

RTS : Recherche Transports Sécurité n°54

1997-03

SES

DUMARTIN (G), HUART (Y)

Planification. Schéma directeur autoroutier et accessibilité territoriale.

Notes de Synthèse du SES n°105

1996-09

MORCELLO (E), DUMARTIN (G)
Le corridor Nord en 2000/2010 : une étude d'accessibilité.
RTS : Recherche Transports Sécurité n°50
1996-03

Bus à plancher bas : le mouvement est lancé.
Transport Public n°935
1995-03

DARLOT (D)
Accessibilité des autobus surbaissés dans la ville de demain.
Transport Public International n°3
1995-03

Rouen et Strasbourg : les trams de la nouvelle vague.
La Vie du Rail n°2473
1994-12

Une ligne de bus accessible aux handicapés.
La Vie du Rail n°2468
1994-11

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE
Urbain. Les enjeux du surbaissé.
Bus et Car Magazine n°487
1994-09

DEJEAMMES (M)
L'autobus, transport urbain facile pour tous.
TEC : Transport Environnement Circulation n°124
1994-06

TVR de Caen : le projet prend forme.
Transport Public n°925
1994-04

La qualité du transport de voyageurs adaptée aux besoins des handicapés.
Rail International n°3
1994-03

Les chemins de fer suisses et les handicapés : mesures pratiques.
Rail International n°3
1994-03

Bus à plancher bas. Un système à part entière.
Transport Public n°923
1994-02

L'aménagement des aéroports en question.
Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment n°4702
1994-02

OBRIST (E)
Possibilités d'accès offertes aux voyageurs à mobilité réduite. La stratégie des CFF dans le domaine du transport des voyageurs handicapés.
Rail International n°9
1994-02

RAVIOT (JP)

Spécial Ile-de-France. Site propre pour autobus. Le Trans Val-de-Marne.

Revue Générale des Chemins de fer n°10

1993-10

Le Portugal cinq ans avant l'expo.

Transport Public n°916

1993-06

Royaume-Uni : sept ans de déréglementation, et après ?

Transport Public n°916

1993-06

MALTERRE BARTHES (AM)

Le temps des tramways à plancher bas.

Le Railhors série n° 4

1992-12

MARTRAIN (C)

La décentralisation à l'épreuve.

TPE : Techniques et Politiques d'Equipement n°114

1992-12

5 Millions de français exclus des transports.

La Vie du Rail n°2369

1992-11

