

Théorie économique de l'accessibilité urbaine

Monsieur Gilbert Koenig

Résumé

Théorie économique de l'accessibilité urbaine

La théorie économique de l'accessibilité urbaine est un modèle économique probabiliste du comportement du citoyen, qui optimise ses déplacements urbains en tenant compte des conditions de transport et de l'intérêt des destinations possibles. Le premier résultat est un indicateur de planification quantifiant le service rendu et échappant aux contradictions des indicateurs classiques de coût ou de temps de transport.

Par ailleurs, cette théorie permet d'améliorer les modèles de prévision du trafic, et de justifier rigoureusement les modèles gravitaires classiques.

Abstract

Economic theory of urban accessibility

The economic theory of urban accessibility is a probabilistic and economic model of the behaviour of city inhabitants, who optimize their urban trips according to travel conditions and interest of possible destinations.

The first result is a quantified indicator of the level of service; this planning indicator avoids the contradictions of the previous travel cost and time indicators. The theory leads also to improvements of traffic models and gives a mathematical justification to gravity models.

Citer ce document / Cite this document :

Koenig Gilbert. Théorie économique de l'accessibilité urbaine. In: Revue économique, volume 25, n°2, 1974. pp. 275-297;

doi : <https://doi.org/10.3406/reco.1974.408144>

https://www.persee.fr/doc/reco_0035-2764_1974_num_25_2_408144

Fichier pdf généré le 27/03/2018

THEORIE ECONOMIQUE DE L'ACCESSIBILITE URBAINE

Le présent article analyse et commente les perspectives ouvertes, dans le domaine de la planification des transports urbains, par des recherches concernant la théorie économique de l'accessibilité. Les calculs et démonstrations sont inclus dans une note technique¹ diffusée en avril 1973 et ne seront pas repris en détail ici ; l'auteur pense d'ailleurs avoir pu les rendre suffisamment longs et rébarbatifs pour les mettre à l'abri de la critique.

Dans une période où la planification des transports urbains cherche encore sa voie, jamais les « demandeurs » d'indicateurs quantitatifs pertinents du service rendu ou de l'utilité offerte n'ont été aussi nombreux. Citons notamment, pêle-mêle :

- les planificateurs, qui souhaitent intégrer le service rendu parmi les critères de choix entre variantes ;
- les sociologues, soucieux de déceler et de réduire les inégalités entre catégories de citoyens devant l'accès aux emplois et aux services de la ville, génératrices de « ghettos » ;
- les ingénieurs de trafic, qui ont besoin d'une mesure de la qualité de l'offre de transport pour mieux prévoir la demande en déplacement de personnes ;
- les urbanistes, qui désirent prendre en compte, pour leurs prévisions de développement urbain, l'effet structurant exercé par les infrastructures de transport dans les zones qu'elles desservent.

Or le problème de l'évaluation du service rendu aux usagers par un réseau de transport urbain n'a pas toujours dans le passé été résolu — ni même abordé — de manière satisfaisante.

1. G. KOENIG, « Théorie économique de l'accessibilité urbaine », Note technique, ronéotée, 1973.

L'objet de la présente note est de présenter la théorie économique de l'accessibilité urbaine, qui résulte de recherches récentes menées en France. Cette recherche vise un double objectif :

- fournir, avec sa justification théorique, un indicateur d'utilité utilisable dans la planification des transports et l'aménagement urbain ;
- intégrer cet indicateur dans les modèles de prévision de trafic, afin d'améliorer la précision de ces modèles.

*
**

Traditionnellement, on mesure l'efficacité d'un système de transport en utilisant des variables familières à l'ingénieur de trafic, telles que temps par déplacement, vitesses moyennes, ou temps total passé par la population en transport. L'idée implicite dans une telle approche est que le service rendu aux usagers par un réseau se mesure au gain global de temps de transport (ou de coût généralisé) qu'il procure ; bien des études « économiques » ont été effectuées sur cette base.

Or ce postulat est faux. Il est facile de trouver des cas où le service rendu augmente, bien que le temps global de transport se soit accru. Citons-en deux exemples :

1. La prolongation d'une ligne de bus en banlieue draine une clientèle nouvelle qui auparavant ne se déplaçait pas parce qu'elle n'avait pas de moyen de transport à sa disposition. L'apparition de ce trafic induit alourdit le temps total passé, mais la satisfaction n'a pu qu'augmenter.
2. Il en est de même lorsque l'univers de choix proposé au citoyen s'élargit. Par exemple, la création d'une zone industrielle éloignée de la ville peut amener certains actifs à renoncer de leur plein gré à leur ancien emploi en ville pour venir travailler dans cette zone : le gain de salaire, ou d'intérêt du travail, peut en effet contrebalancer pour ces personnes le temps supplémentaire passé en transport.

Poussons le paradoxe jusqu'à la caricature : imaginons une ville où le prince, pour réduire les temps de transport et faire le bonheur de ses sujets malgré eux, décide d'interdire les trajets domicile-travail supérieurs à 10 minutes. La satisfaction baisse, le temps total de transport aussi.

Devant ces contradictions fondamentales que l'on rencontre en mesurant le service rendu uniquement par le temps global (ou le

coût) économisé, les ingénieurs de trafic ont en général tourné la difficulté : il suffit en effet, apparemment, de convenir que tous les calculs économiques (essentiellement de comparaison entre variantes du système de transport futur) s'effectueront sur la base d'une demande *constante*, exprimée sous la forme d'une matrice origine-destination indépendante de la variante envisagée. Du coup, le bilan des transports (temps total passé par exemple) redevient un indicateur *univoque* du service rendu : plus il est lourd, plus le service rendu est mauvais ; et inversement, plus il s'allège, plus l'utilité offerte croît.

On a donc, apparemment, obtenu une théorie cohérente. On peut lui faire pourtant un reproche grave : c'est que l'hypothèse de base (une demande constante) est erronée. La « demande » de transport ne saurait être constante ; le nombre des déplacements, le choix des destinations et des modes de transport, l'urbanisation même, peuvent varier très sensiblement d'un système de transport à l'autre en fonction des variations de la qualité de l'offre. Cela ne vaudrait même pas la peine d'insister longuement sur une semblable théorie, si elle ne se trouvait être à la base, implicitement ou explicitement, de la *quasi-totalité des études économiques actuelles* dans la planification des transports urbains.

De quelque manière qu'on les retourne, les théories économiques fondées sur l'indicateur de consommation en transport (exprimé, par exemple, en temps total passé), se heurtent au dilemme insoluble suivant :

- ou bien on adopte la fiction d'une demande constante ;
- ou bien l'indicateur de consommation perd toute signification, et on ne sait même plus si on souhaite le faire croître ou décroître.

Cette critique fondamentale ne signifie cependant pas que les indicateurs de consommation en transport sont dénués de tout intérêt ; elle montre seulement qu'ils sont par essence ambigus et qu'il faut les manier avec précaution. C'est pourquoi nous avons été amenés à rechercher d'autres indicateurs de mesure économique du service rendu par les transports, si possible moins vulnérables à la critique.

*
**

Pour sortir de cette contradiction, il est indispensable de mesurer le service rendu par un déplacement de manière plus complète que par le seul temps (ou coût) généralisé de transport. Il y a en effet, dans un déplacement, deux aspects :

- *l'élément moteur* (la tension) représenté par l'intérêt attaché par le citadin à la possibilité d'accéder au lieu de destination envisagé ;
- *l'élément résistant* (la perte de charge) représenté par le temps, l'argent, l'inconfort qu'il faut « payer » pour se déplacer.

L'utilité nette du déplacement est la différence entre ces deux éléments. Le mot « utilité » représentera ici simplement un niveau de service exprimé en équivalent monétaire (francs).

On voit mieux par là en quoi pêche l'approche économique classique : si la consommation en service transport représente correctement d'élément résistant, elle néglige au moins la moitié du phénomène en laissant dans l'ombre l'existence de l'élément moteur, c'est-à-dire de la richesse du choix offert par la structure urbaine existante.

En fait, l'objectif d'une théorie satisfaisante du service rendu par les transports urbains doit être d'évaluer *l'utilité nette* des déplacements, qui est la différence entre l'utilité brute (élément moteur) et le coût global du transport (élément résistant).

Ce faisant, on a abandonné la recherche d'une utilité intrinsèque du système de transport, qui s'est avérée sans objet. Nous allons maintenant chercher à évaluer l'utilité procurée par la possibilité d'accéder aux différents points d'intérêt de la ville par l'intermédiaire du réseau étudié. Cette utilité est donc celle qu'offre le système global formé par les structures urbaines et le réseau qui les dessert.

C'est là le système minimal (au sens de l'analyse des systèmes) au sein duquel le concept d'utilité du transport ait un sens.

*
**

Pour éclairer la manière dont nous proposons de quantifier l'utilité économique de la liberté de choix offerte au citadin, nous prendrons l'exemple d'un actif (M. Dupont), résidant dans une zone *i* déterminée de l'agglomération, et qui est à la recherche d'un emploi. Nous supposerons que M. Dupont se comporte de la manière suivante :

1. Il associe à chaque possibilité d'emploi offerte un revenu équivalent brut annuel *R* tenant compte du revenu réel offert, des chances effectives qu'il a d'être accepté dans cet emploi, ainsi que d'autres variables subjectives (convenances personnelles, intérêt du travail, avantages sociaux).

Si M. Dupont est aide-comptable, le fait qu'un emploi de PDG soit offert n'apporte qu'un revenu équivalent quasiment nul. Un

emploi de garagiste à 25 000 F par an ne lui apportera qu'un revenu équivalent de 15 000 F parce qu'il devrait pour cela acquérir une formation complémentaire et que, de toute façon, il n'aime pas se salir les mains.

2. De même, à chaque lieu d'emploi offert, M. Dupont associe un coût généralisé annuel T du transport (temps passé, coût monétaire, inconfort, risque d'accident...) tenant compte des particularités de sa situation (possession ou non d'une voiture, niveau de congestion du réseau, qualité des transports collectifs...).
3. Pour toutes les offres d'emploi dont M. Dupont peut avoir connaissance, il évalue l'utilité nette $U = R - T$.
4. M. Dupont choisit l'emploi qui lui offre la plus grande utilité nette.

La difficulté est que, pour traiter complètement le problème, il faudrait connaître le revenu brut annuel R associé par M. Dupont à chaque emploi offert. C'est évidemment impossible.

Mais notre ambition est plus modeste. Nous cherchons à évaluer non pas l'utilité précise offerte à M. Dupont, mais l'utilité nette moyenne des résidents de la zone i ayant des caractéristiques socio-professionnelles voisines de celles de M. Dupont. Il nous suffira pour cela de connaître la *distribution statistique* des revenus équivalents attachés par un de ces résidents aux emplois offerts.

Nous supposerons que le revenu équivalent R associé par un individu précis (M. Dupont) à un emploi tiré au hasard parmi les emplois offerts est une variable aléatoire.

Parmi les emplois offerts, beaucoup n'offrent qu'un revenu équivalent faible ; la probabilité de trouver un revenu égal à x décroît rapidement quand x augmente. Nous prendrons comme densité de probabilité $f(x)$ de la variable aléatoire R une exponentielle négative, de la forme :

$$f(x) = \frac{1}{x_0} e^{-\frac{x}{x_0}} \quad (1)$$

x_0 est un coefficient caractéristique de l'individu choisi (M. Dupont).

Cette hypothèse a priori de loi de probabilité peut paraître bien arbitraire ; en fait, elle est justifiée a posteriori par l'intérêt et la vraisemblance des résultats auxquels elle conduit².

Moyennant ces hypothèses, il est possible de calculer l'utilité nette probable de l'emploi finalement choisi par M. Dupont. Les résultats de ce calcul vont maintenant être exposés.

Une formulation analogue est possible pour les déplacements autres que pour travail (achats, visites, loisirs...) et qui sont attirés par les zones de commerce ou de service de la ville ; on peut ainsi obtenir une description complète des déplacements urbains.

Nous ne poursuivrons pas ici la discussion détaillée des hypothèses ; le lecteur se référera pour cela à la note technique.

*
**

Venons-en maintenant aux résultats. Il est possible de montrer (voir note technique) que l'utilité nette U offerte à M. Dupont est une variable aléatoire dont la moyenne est :

$$\begin{array}{l} \overline{U}_i = x_0 \text{ Log } A_i \\ \text{avec : } A_i = \sum_{j=1}^n E_j e^{-\frac{c_{ij}}{x_0}} \end{array} \quad (2)$$

i est la zone de résidence de M. Dupont ;

n est le nombre de zones définies dans le périmètre d'études ;

E_j est le nombre d'emplois dans la zone j ;

2. Signalons cependant que les résultats finaux ne sont sensibles à la forme de la loi de probabilité choisie que pour les valeurs de x voisines du revenu « normal » de M. Dupont compte tenu de sa qualification (par exemple aux environs de 20 000 F). L'hypothèse faite d'une loi exponentielle s'énonce alors ainsi : dans la zone des revenus « normaux » de M. Dupont, le nombre d'emplois qu'il trouvera lui offrant un revenu x sera divisé par $e = 2,72$ chaque fois que M. Dupont élèvera ses prétentions (c'est-à-dire x) de la quantité x_0 . Une telle hypothèse ne paraît pas absurde (nous verrons que, en moyenne, x_0 est voisin de 1 800 F/an, soit 150 F/mois).

3. La formule exacte est en fait : $\overline{U}_i = x_0 (\text{Log } A_i + C)$. Elle présente essentiellement l'avantage, que les fins connaisseurs sauront apprécier à sa valeur, d'introduire la constante d'Euler $C = 0,577$. De toute manière, l'utilité est définie à une constante près, qui permet de se « caler » (il suffit de déplacer en bloc la fonction de répartition de R).

c_{ij} est le coût généralisé annuel du transport de i vers j (trajets aller-retour pour se rendre à un travail en j);

x_0 est le paramètre précédemment défini (cf. formule 1) caractéristique de M. Dupont.

Rappelons que l'utilité nette U est le revenu annuel de l'emploi finalement choisi par M. Dupont, corrigé par les facteurs d'appréciation propres à M. Dupont (intérêt du travail, avantages sociaux...) et diminué du coût généralisé annuel des trajets domicile-travail. U est aussi la plus forte des utilités nettes attachées par M. Dupont aux différents emplois offerts.

Le nombre A_i , quant à lui, est une vieille connaissance dans le petit monde des amateurs éclairés en matière de modèles de transport.

1

Nous montrerons en effet que $\frac{1}{x_0}$ n'est autre que le coefficient de

conductance des modèles gravitaires, et que A_i est donc l'accessibilité gravitaire aux emplois, notion qui est utilisée depuis longtemps dans la littérature spécialisée (mais jusqu'à présent sans justification théorique complète, semble-t-il)⁴.

On voit mieux maintenant comment intervient la liberté de choix de M. Dupont dans la recherche de son travail. Si M. Dupont n'avait qu'un seul emploi à sa disposition, ou s'il était contraint d'en prendre un que le planificateur suprême aurait choisi pour lui au hasard entre plusieurs milliers d'emplois potentiels, son revenu moyen serait x_0 ⁵. Mais si M. Dupont peut choisir dans l'agglomération, il pourra améliorer notablement son utilité nette par rapport au revenu « de base » x_0 . En fait, il multiplie en moyenne ce revenu de base par $\text{Log } A_i$, qui est de l'ordre de 8 à 10⁶. Il est normal de constater que plus la liberté de choix (A_i) est grande, plus M. Dupont a de chances de

4. A_i peut s'interpréter comme étant le nombre d'« emplois équivalents ramenés à distance nulle » offerts à M. Dupont. Par le jeu du facteur de conductance $e^{-\frac{c_{ij}}{x_0}}$, un emploi à proximité immédiate ($c_{ij} = 0$) compte pour 1 ;

un emploi pour lequel le coût généralisé annuel de transport est x_0 ne compte plus que pour $e^{-1} \simeq 0,36$; un emploi très éloigné ($c_{ij} \gg x_0$) comptera pour 0.

5. x_0 est nettement plus faible que le salaire moyen ; c'est en effet une moyenne entre une petite minorité d'emplois qui conviennent à M. Dupont (et qui sont alors comptés pour le salaire qui leur est attaché) et une forte majorité d'emplois qui ne conviennent pas (et qui sont alors comptés pratiquement pour zéro, quel que soit le revenu correspondant).

6. Nous en déduisons une valeur moyenne de x_0 . Si le revenu annuel équivalent moyen est de 18 500 F, le coût généralisé annuel des déplacements travail de 2 500 F, nous trouvons avec $\text{Log } A_i = 9$: $x_0 \simeq 1 800$ F.

trouver un emploi bien rémunéré, intéressant et proche du domicile.

Jusqu'à présent, nous n'avons abordé que les déplacements pour le motif travail. Il reste à élargir l'analyse aux autres déplacements faits pour achats, affaires, loisirs...

Il est possible (voir note technique) de mener un raisonnement analogue à celui qui vient d'être exposé. Si M. Dupont cherche un emploi, nous avons vu qu'il attache une valeur (le revenu équivalent) à l'existence d'emplois pouvant lui convenir ; de même, si M. Dupont veut faire des achats, des démarches administratives, des déplacements de loisirs, il attachera une valeur à l'existence des commerces ou des services (c'est-à-dire des emplois tertiaires) susceptibles de le satisfaire. L'utilité annuelle d'accès aux emplois tertiaires peut s'écrire :

$$\begin{aligned} \bar{U}'_i &= x'_0 \text{ Log } A'_i + \text{constante} \\ &\quad - \frac{c_{ij}}{x'_0} \end{aligned} \quad (3)$$

avec : $A'_i = \sum_{j=1}^n E'_j e$

E'_j = nombre d'emplois tertiaires dans la zone j ;

A'_i = accessibilité gravitaire aux emplois tertiaires ;

x'_0 est un paramètre caractéristique de M. Dupont.

Partant des valeurs expérimentales de x'_0 , on peut calculer \bar{U}'_i en supposant que la constante additive est nulle. On observe, dans les cas que nous avons examinés, que l'utilité annuelle d'accès aux emplois tertiaires pour l'ensemble des membres d'un ménage est voisine du revenu qu'ils peuvent y dépenser. Cette constatation est conforme au bon sens ; qu'est-ce que l'utilité procurée par un revenu, si ce n'est la possibilité d'acheter des biens ou des services ? L'utilité \bar{U}' offerte par les possibilités d'accès aux commerces et services ne doit donc pas être ajoutée à l'utilité \bar{U} d'accès aux emplois : il y aurait double compte manifeste.

Il est cependant évident que l'accessibilité aux services tertiaires constitue une information précieuse. Un même revenu nominal correspond à une utilité ou une satisfaction bien supérieure si l'on réside à proximité immédiate de services nombreux et variés : il n'est pas indifférent de disposer de 2 000 F par mois au Quartier Latin à Paris ou dans une banlieue lointaine et déshéritée. Nous sommes donc conduits aux conclusions suivantes :

a) *L'utilité fondamentale est celle de l'accès au lieu de travail.* Elle suppose implicitement des conditions « moyennes » d'accès aux services tertiaires, où sera dépensée la part consommée de ce revenu.

b) L'utilité d'accès aux services intervient pour *corriger* — en plus ou en moins — l'utilité d'accès au travail.

On peut proposer la formule suivante pour caractériser l'utilité offerte finalement au groupe constitué par un actif et les personnes non actives qui vivent de son revenu :

$$U_i = x_0 \text{ Log } A_i + x'_0 (\text{Log } A'_i - \overline{\text{Log } A'_i}) \quad (4)$$

Cette formule finale d'utilité (4) tient compte non seulement des possibilités offertes à M. Dupont de trouver un emploi intéressant et rémunérateur, mais aussi des possibilités pour M. Dupont et les personnes à sa charge de dépenser agréablement l'argent laborieusement gagné⁸.

*
**

Nous voici donc munis d'un outil d'analyse économique très séduisant. Il ne nous reste plus qu'à examiner s'il peut servir à quelque chose. Nous étudierons successivement les applications concernant les critères de planification, puis les applications aux méthodes et modèles de prévision.

7. $\text{Log } A'_i$ est une moyenne de $\text{Log } A'_i$ pour l'ensemble des citadins.

Le paramètre x'_0 se rapporte ici à l'ensemble des personnes qui vivent du travail de M. Dupont (y compris M. Dupont).

8. Pour terminer l'étude de la variable aléatoire U (dont la formule (2) représente l'espérance mathématique), il est de notoriété publique qu'un probabiliste qui se respecte n'abandonne jamais une variable aléatoire avant d'en avoir calculé la variance. Nous obtenons ici, à la suite d'un calcul reproduit dans la note technique, et qui réserve bien des joies à l'amateur :

$$v(U) = \frac{\pi^2}{6} x_0^2$$

Cela signifie que, dans un groupe d'individus de même niveau socio-économique et résidant dans la même zone, on pourra observer des fluctuations aléatoires extrêmes de l'utilité nette de l'ordre de 15 % autour de la valeur moyenne.

1. Application aux critères de planification

a) Le premier service que l'on peut attendre de notre nouvelle mesure de l'utilité consiste à juger du service global rendu par une variante donnée de système de transport ; nous avons vu en effet que la consommation en transport (coût ou temps global) n'était à cet égard pas satisfaisante.

L'utilité offerte à chacun des T_i travailleurs actifs de la zone i est fournie par la formule (2) ou, de manière plus précise, par (4). Etendue à tous les actifs de l'agglomération, l'utilité globale offerte U_G s'écrit :

$$U_G = x_0 \sum_{i=1}^n T_i \text{Log } A_i \quad (5)$$

$$\text{Avec : } A_i = \sum_{j=1}^n E_j e^{-\frac{c_{ij}}{x_0}}$$

x_0 prend ici une valeur moyennée sur l'ensemble des actifs.

Pour comprendre comment varie cette utilité globale, reprenons sa valeur pour un actif de la zone i :

$$U_i = x_0 \text{Log} \left(\sum_j E_j e^{-\frac{c_{ij}}{x_0}} \right)$$

\bar{U}_i s'accroît si le réseau de transport s'améliore, c'est-à-dire si les coûts généralisés c_{ij} du transport de i à j diminuent.

Pour faire le lien avec l'indicateur classique de coût global, supposons que tous les coûts c_{ij} diminuent de la même quantité Δc : nous voyons que \bar{U}_i augmente alors de cette quantité Δc . Les variations de l'utilité globale U_G sont donc *identiques (au signe près) à celles du coût global des transports lorsque les conditions de transport s'améliorent (ou se dégradent) de manière homogène.*

Par contre, lorsque les variations de coût ne sont plus homogènes, on obtient des variations d'utilité qui diffèrent de celles du coût généralisé — et c'est heureux car nous avons montré que le coût généralisé n'est pas un bon indicateur de service rendu dans le cas général.

Reprenons en effet les contre-exemples que nous avons utilisés pour réfuter l'indicateur de coût global. Le premier était celui d'une *demande nouvelle induite*. Nous l'avons illustré en supposant la création d'un nouveau système de transport collectif : le coût global des transports augmentait alors que l'utilité offerte s'était accrue.

On peut donner de ce phénomène l'interprétation suivante : le nouveau mode de transport « libère » une demande qui, auparavant, aurait dû supporter un coût très élevé pour s'exprimer, au point que ce coût dépassait l'utilité procurée par le déplacement ; la clientèle potentielle renonce alors à se déplacer. Exemple : banlieusard sans voiture renonçant à aller au cinéma parce qu'il faudrait prendre un taxi.

Notre modèle permet de rendre compte de ces renoncements au déplacement : la variable aléatoire représentant l'utilité d'accès aux destinations intéressantes peut, en effet, avec une probabilité calculable, être inférieure au coût du transport. L'amélioration offerte par la mise en service d'un nouveau mode de transport se traduit alors, pour cette population captive, par une baisse des coûts et donc par l'amélioration de l'utilité \bar{U}_i d'accès aux services. L'apparition d'un trafic induit n'est que la manifestation de cette croissance de l'utilité offerte, qui rend plus improbable le renoncement au déplacement.

Le deuxième contre-exemple était celui des *modifications dans la distribution des destinations*. Nous avons imaginé une ville dont le prince (par un caprice enfantin) interdit tous les déplacements de plus de 10 minutes (d'où baisse du coût moyen, mais aussi paradoxalement de la satisfaction). L'interprétation est ici très simple : les emplois situés à plus de 10 minutes disparaissent de l'univers de choix et l'accessibilité gravitaire aux emplois (donc aussi l'utilité offerte U_i) se détériore forcément.

Le modèle proposé permet donc d'échapper à toutes les contradictions de l'indicateur de coût global que nous avons recensées.

L'application de la théorie de l'accessibilité à la comparaison entre variantes a été illustrée sur les figures 1, 2 et 3 dans le cas du Mans, où l'on a recherché s'il était préférable de commencer par prolonger à l'ouest la rocade Sud existante ou de construire d'abord la pénétrante Nord. Les figures 1 et 2 représentent, pour chaque variante, les cartes d'utilité nette offerte par les emplois accessibles en voiture pour des ménages comprenant en moyenne 1,2 actifs (voir, p. 289, commentaire des figures 1 à 3).

FIGURE 1

Le Mans - 1977 - Hypothèse de création d'une pénétrante

*Utilité nette offerte par les emplois accessibles en voiture particulière
(revenu brut moins coût généralisé de transport)
en francs 1970 par ménage et par an*

Utilité calculée pour un ménage moyen pouvant prétendre
à un revenu brut moyen de 22 500 F par an

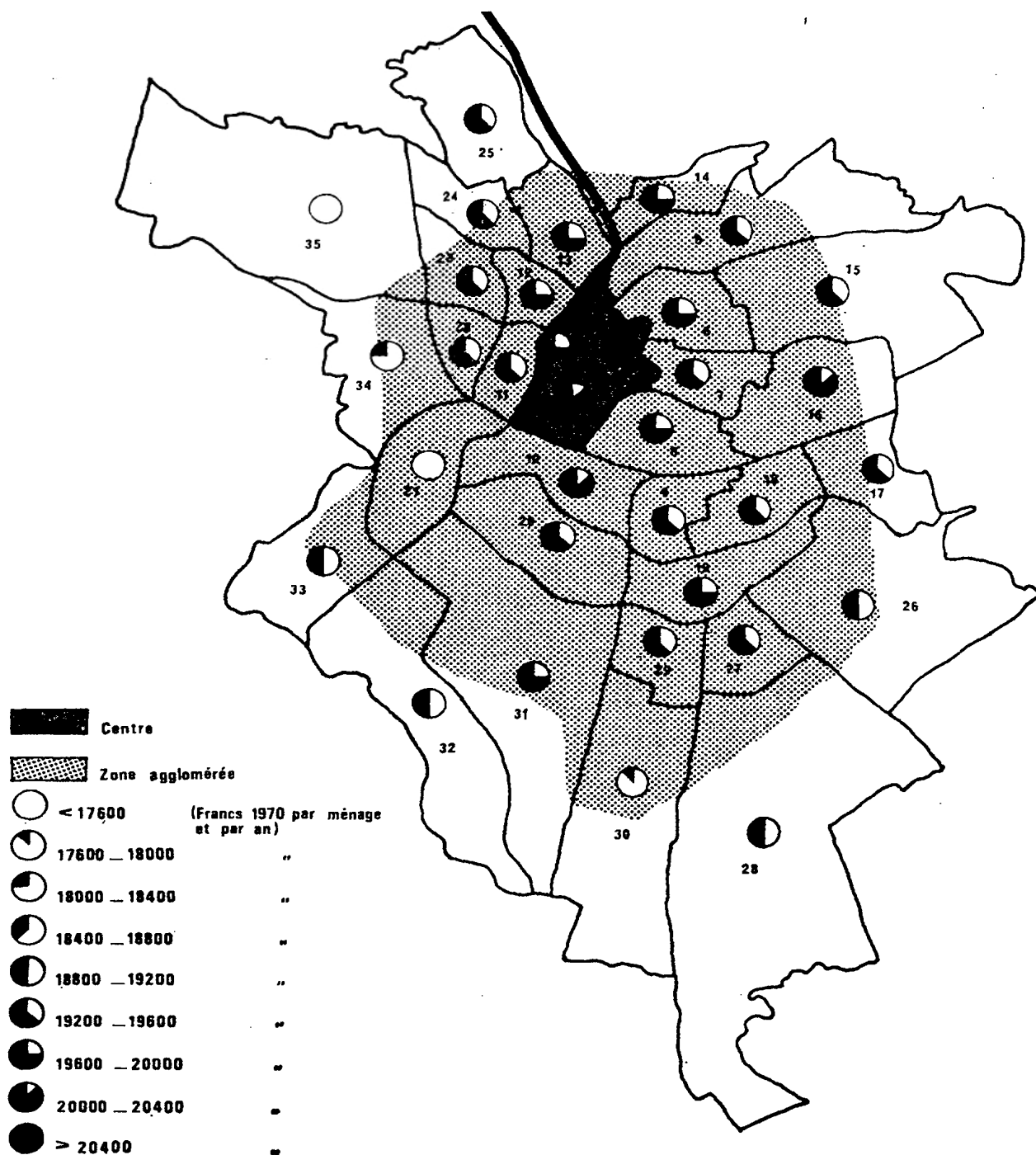


FIGURE 2

Le Mans - 1977 - Hypothèse de création d'une rocade

*Utilité nette offerte par les emplois accessibles en voiture particulière
(revenu brut moins coût généralisé de transport)
en francs 1970 par ménage et par an*

Utilité calculée pour un ménage moyen pouvant prétendre
à un revenu brut moyen de 22 500 F par an

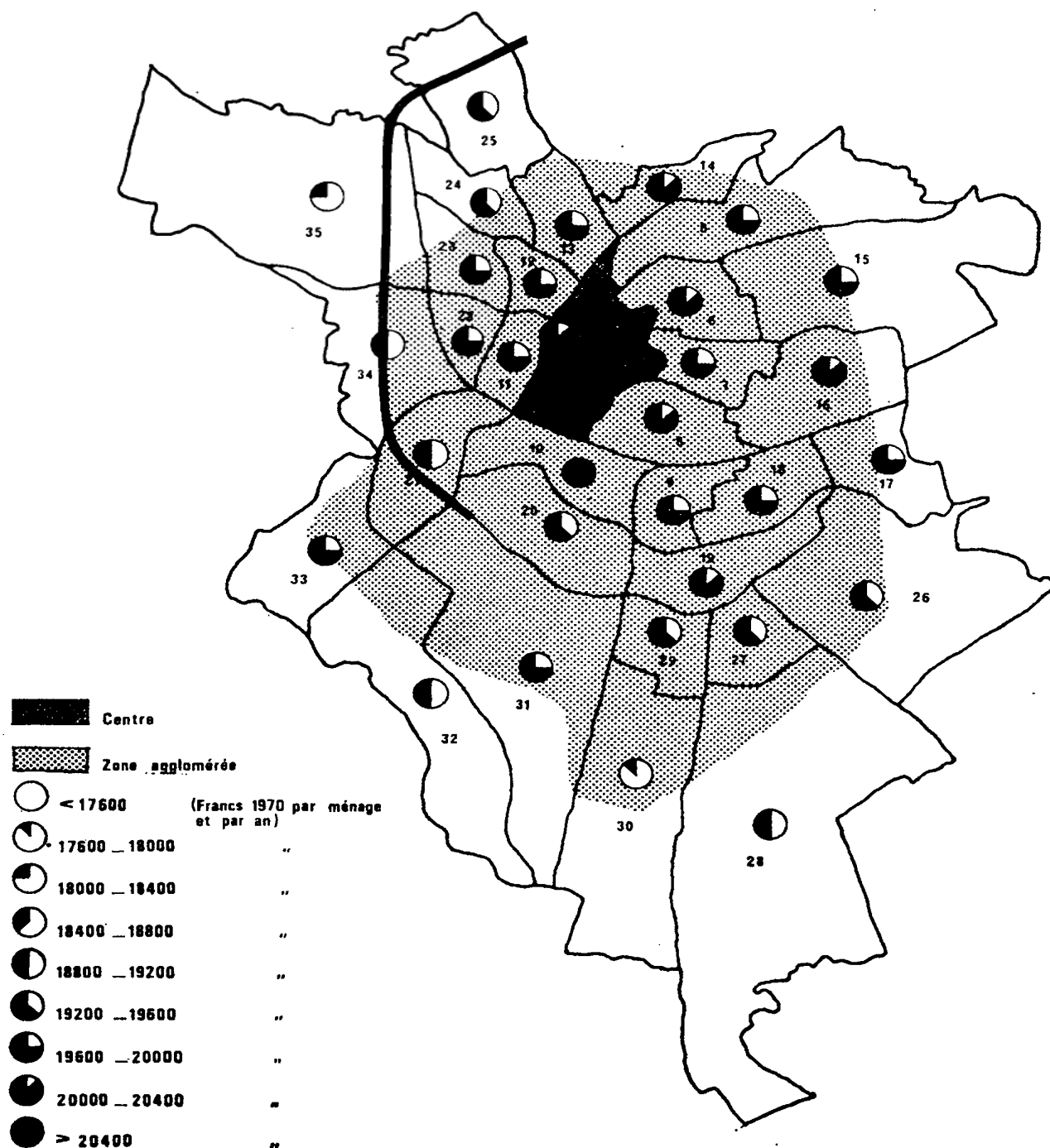
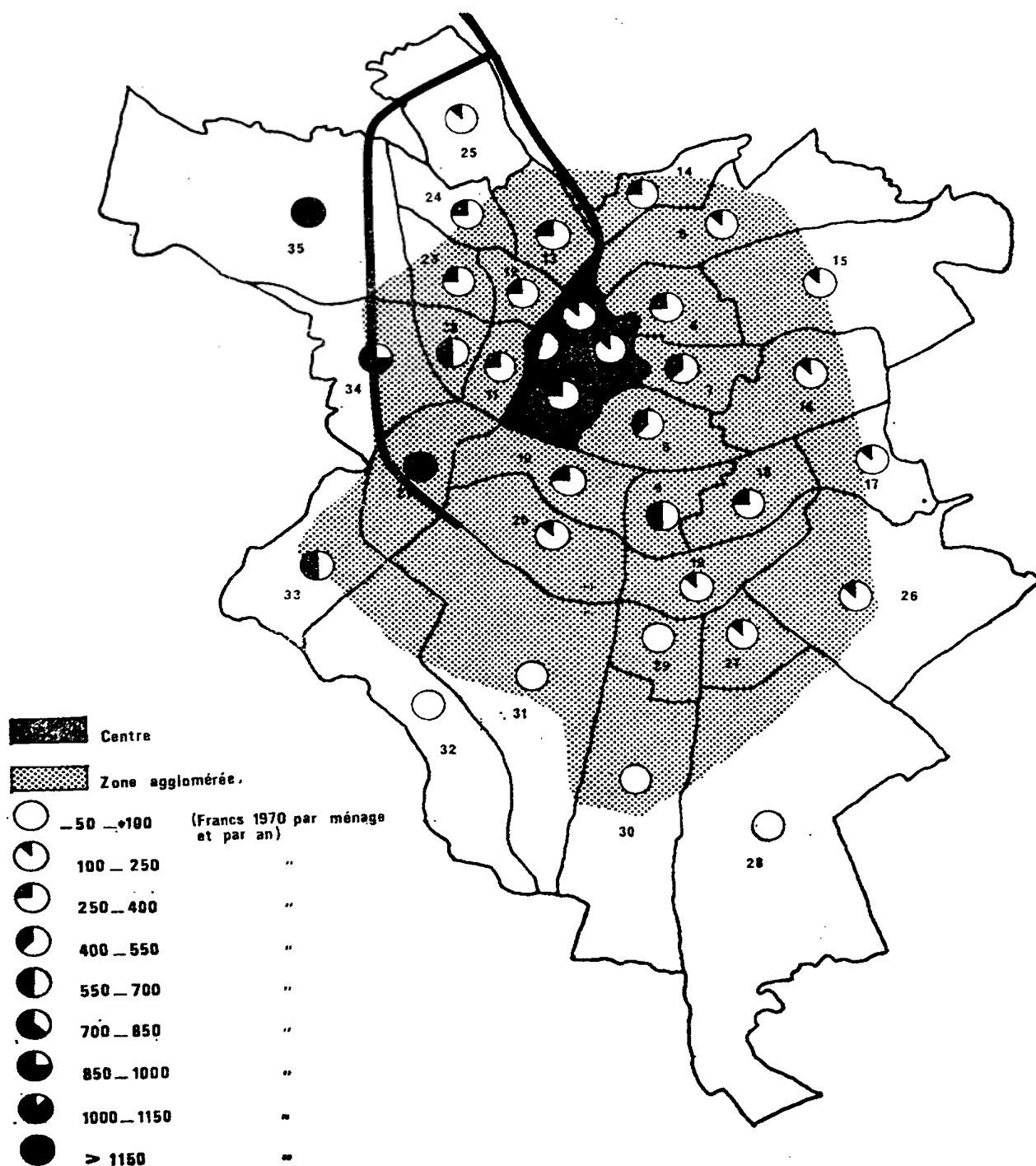


FIGURE 3

Le Mans - 1977 - Comparaison des variantes rocade et pénétrante

Différence d'utilité offerte à un ménage moyen entre les variantes

(En francs par ménage et par an comptés positivement
lorsque l'avantage est à la rocade)



Commentaire des figures 1 à 3

Bien que le centre-ville soit la zone où la circulation est la plus difficile, elle est aussi celle qui offre la meilleure utilité car la densité d'emplois y est très forte.

La figure 3 représente la différence entre les utilités offertes par ces deux variantes et permet d'illustrer concrètement l'idée de « zone d'influence » d'une infrastructure. Elle montre que cette « zone d'influence » est assez différente de la bande de un ou plusieurs kilomètres de part et d'autre que l'on aurait pu attendre. En effet, une infrastructure nouvelle peut modifier considérablement les flux de trafic dans toute l'agglomération.

Par exemple, le centre est paradoxalement mieux desservi par la rocade (qui n'y passe pas) que par la pénétrante (qui y passe) : la rocade permet en effet de le décongestionner car elle en retire une grande quantité de véhicules qui circulent entre zones périphériques mais qui sont obligés de passer au centre en l'absence de rocade. C'est là la raison essentielle de l'avantage presque systématique de la rocade sur la 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.

De semblables cartes peuvent être établies pour les autres modes de transport (transports collectifs, marche à pied, deux roues) ou pour différentes catégories de citoyens (définies par exemple par la CSP, le revenu ou le niveau de motorisation). Il est ainsi possible d'analyser de manière fine la comparaison entre divers systèmes de transport ou même d'urbanisation.

En sens inverse, il est possible, par la théorie de l'accessibilité, d'évaluer la différence globale d'efficacité économique entre variantes. Pour les seuls actifs rentrant de leur travail à l'heure de pointe du soir, on peut ainsi estimer à 8,5 millions de francs par an l'avantage économique de la variante rocade, ce qui est considérable.

Naturellement, il faudrait aussi déterminer les bénéficiaires finaux du surcroît d'utilité apporté par les infrastructures nouvelles : il est probable que les propriétaires, par le jeu des plus-values foncières, vont en récupérer une partie aux dépens des habitants. L'accessibilité est donc probablement aussi une bonne variable explicative du marché foncier.

b) Nous voyons que l'utilité offerte U_i dépend autant des paramètres E_i et E'_i propres à la structure urbaine, que des paramètres c_{ij} de qualité du système de transport.

Si par exemple (à coûts c_{ij} constants) on multiplie par $e = 2,7$ les quantités E_i (par densification sur place), l'utilité d'accès aux emplois croît de la quantité x_0 . Ceci est dû au fait que chaque citoyen a alors plus de chances de trouver un emploi intéressant, rémunérateur et proche du domicile. Il est donc possible de mesurer ainsi l'utilité économique du choix offert par une structure urbaine donnée. De ce point de vue, une grande ville est préférable à une petite, une

urbanisation dense à une urbanisation lâche (à égalité de conditions de transport c_{ij}).

Il est même possible d'exercer des arbitrages entre modifications du système de transport et modification de la structure urbaine : un banlieusard peut accepter un surcroît de temps de parcours vers les commerces centraux (par congestion de la voirie par exemple) si cet accroissement de coût est compensé par une densification des emplois tertiaires centraux qui lui offre une plus grande liberté de choix⁹.

Nous voyons maintenant clairement en quoi l'utilité U_i proposée ne mesure pas en définitive l'intérêt du seul système de transport, mais bien l'intérêt du système global constitué par les transports et la structure urbaine. Transports et urbanisation sont ici *indissociables*.

Il y a là tout un champ de recherches encore peu exploré, et qui reste évidemment inaccessible si l'on se limite à des indicateurs de coût du transport qui se contentent d'observer ce qui se passe à l'intérieur du sous-système transport. Il semble, d'après les premiers calculs, qu'on puisse par exemple aboutir à une satisfaction globale équivalente dans un centre-ville dense bien desservi par les transports en commun, et dans une périphérie peu dense bien desservie par la voiture particulière.

c) Dans la mesure où il rend compte correctement de l'utilité offerte aux résidents d'une zone, l'indicateur d'accessibilité reflète aussi partiellement le comportement spontané des agents de l'urbanisation et permet donc de mesurer la vraisemblance d'une hypothèse de développement urbain.

Il est alors possible d'utiliser cet indicateur pour déceler les zones dont le développement est favorisé par telle ou telle variante de système de transport ; on dispose là d'un moyen d'étudier *l'interaction dynamique entre les infrastructures de transport et l'urbanisation*.

L'intérêt et les limites de l'accessibilité gravitaire pour l'analyse des tendances du développement urbain seront discutés ci-après (avec l'application aux modèles de prévision).

d) Si l'indicateur d'utilité se prête à des analyses globales agrégeant les utilités des citadins (voir formule 5), il se prête aussi aux

9. Par exemple, la quantité E_j e $\frac{c_{ij}}{x_0}$ (accessibilité gravitaire aux emplois de la zone j) reste invariable si E_j est multiplié par $e : 2,7$, alors que c_{ij} croît de x_0 .

analyses catégorielles auxquelles s'attache, en particulier, le sociologue. L'indicateur U_i peut être calculé et cartographié par zone géographique de la ville, par mode de transport et par catégorie de citoyens.

Cartographié par zone, il détecte et quantifie les conséquences économiques des inégalités sociales entre résidents de zones bien situées (ayant un large choix) et mal situées (ayant une faible accessibilité).

Cartographié par mode de transport, il permet de mettre en évidence le degré de compétitivité (ou d'insuffisance) des transports collectifs comparés aux transports individuels. La carte des accessibilités par transports collectifs devient même un *indicateur de conception* pour le réseau des transports publics : à côté du critère classique de la « demande de trafic », il faut en effet aussi tenir compte, dans la conception de ce réseau, du critère social de fourniture d'un service minimum à tous les citoyens.

Enfin, il est possible de cartographier séparément l'utilité offerte aux possesseurs de voiture (qui ont le choix entre voiture, transports collectifs, marche à pied, deux roues) et non-possesseurs de voiture (qui n'ont le choix qu'entre ces trois derniers modes). On peut ainsi déceler — et corriger — la tendance de certaines zones de la ville à devenir des « ghettos ».

e) Ayant passé en revue un certain nombre d'utilisations possibles de l'indicateur d'utilité, il est tout de même utile de se demander si cet indicateur peut être calculé et utilisé dans la pratique.

Ce qui frappe d'abord est son *extrême commodité d'obtention*. Toutes les études classiques de transport nécessitent au départ la connaissance des populations, emplois et emplois tertiaires par zone, et fournissent à l'arrivée les temps et coûts de déplacement entre zones. Sans rien changer (ou presque) à la pratique actuelle des études de transport, on a donc en main toutes les données nécessaires au calcul et à la visualisation cartographique de l'indicateur d'utilité.

2. Application aux méthodes et modèles de prévision

Dans la mesure même où elle quantifie le service offert à l'utilisateur par les différentes zones de destination possibles, l'accessibilité gravitaire a vocation à constituer une variable centrale des modèles de prévision. Réciproquement, l'examen critique des conclusions auxquelles elle conduit permet de vérifier la validité opérationnelle de cette théorie.

a) Modèles de génération de trafic

Nous avons vu (à propos des déplacements induits) comment des variations d'accessibilité peuvent expliquer des variations de génération, c'est-à-dire du nombre des déplacements effectués par les citadins. Cette relation, conforme au bon sens dans son principe, était restée ignorée dans les modèles classiques, faute d'un indicateur pertinent du service offert. Elle a pu être confirmée et quantifiée à la suite des recherches récentes sur l'accessibilité¹⁰.

Pour des destinations telles que achats, affaires, visites, loisirs, on peut penser que le nombre de déplacements par personne dépend :

- des caractéristiques socio-économiques telles que taille du ménage, revenu, motorisation ; les lois de génération en fonction de ces paramètres sont connues ;
- de la qualité des conditions de transport ; plus elles sont bonnes, plus on fera facilement des déplacements.

Pour analyser ce dernier facteur, en général ignoré dans les modèles actuels malgré son importance, il est indispensable de définir un indicateur de qualité des conditions de transport. On peut penser pour cela :

- aux indicateurs classiques : temps moyen des déplacements émis par une zone, ou vitesse moyenne ;
- à l'accessibilité.

Les études faites montrent qu'il n'y a pas de corrélation entre le nombre de déplacements quotidiens par personne pour autre motif que travail et la vitesse moyenne à vol d'oiseau en km/h (données résultant d'enquêtes). La durée moyenne des déplacements émis n'est pas davantage un facteur explicatif valable.

La raison de cet échec surprenant est que ces deux indicateurs sont ambigus : un habitant d'un grand ensemble périphérique isolé sera obligé, pour le moindre achat, de prendre sa voiture et d'aller

10. La théorie de l'accessibilité permet de prévoir la relation mathématique exacte entre accessibilité et mobilité : on devrait donc pouvoir la vérifier directement sur les résultats d'enquêtes.

En fait, on agrège généralement sous la rubrique « autres motifs » tous les déplacements autres que liés au travail, qui forment donc une catégorie très hétérogène. Or, le phénomène d'induction n'est sensible que pour les déplacements à faible utilité de base x_0 , qu'il faudrait donc pouvoir isoler dans la masse des « autres motifs » en déterminant exactement la distribution du coefficient x_0 ; mais les enquêtes ne le permettent pas.

C'est pourquoi il paraît préférable de se contenter d'une relation empirique entre accessibilité aux services et mobilité « autres motifs » agrégée : l'existence de cette relation témoigne de la valeur de l'accessibilité comme indicateur de niveau de service.

loin ; il se déplacera vite, mais sa satisfaction ne sera pas très élevée pour autant et il aura tendance à restreindre ses déplacements.

De même, une faible durée moyenne de déplacements pourra bien sûr traduire une bonne satisfaction des besoins en déplacements, mais pourra aussi traduire une limitation plus ou moins forcée à un univers de choix réduit (dans une petite ville par exemple).

La figure 4 montre que l'accessibilité, qui échappe aux ambiguïtés évoquées ici, peut constituer le facteur explicatif cherché (en fait, conformément à la théorie, la figure 4 relie la génération de trafic au logarithme de l'accessibilité).

L'existence d'un tel lien significatif stable entre mobilité et accessibilité est confirmée par l'analyse statistique dans toutes les agglomérations étudiées. Il est normal qu'une forte dispersion subsiste, puisque bien d'autres variables agissent sur la mobilité (taille des ménages, revenus, etc.).

b) Modèles de distribution de trafic

La distribution de trafic vise à déterminer comment les déplacements émis par une zone donnée vont se répartir entre les différentes zones de destination possibles. C'est la phase centrale des modèles de précision.

La présente théorie permet de calculer pour un résident de la zone i , la probabilité P_j pour que la destination qui lui procure la meilleure utilité se trouve dans la zone j . Pour les déplacements domicile-travail, on trouve ainsi nécessairement :

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

avec c_{ik} = coût généralisé annuel du transport entre i et k .

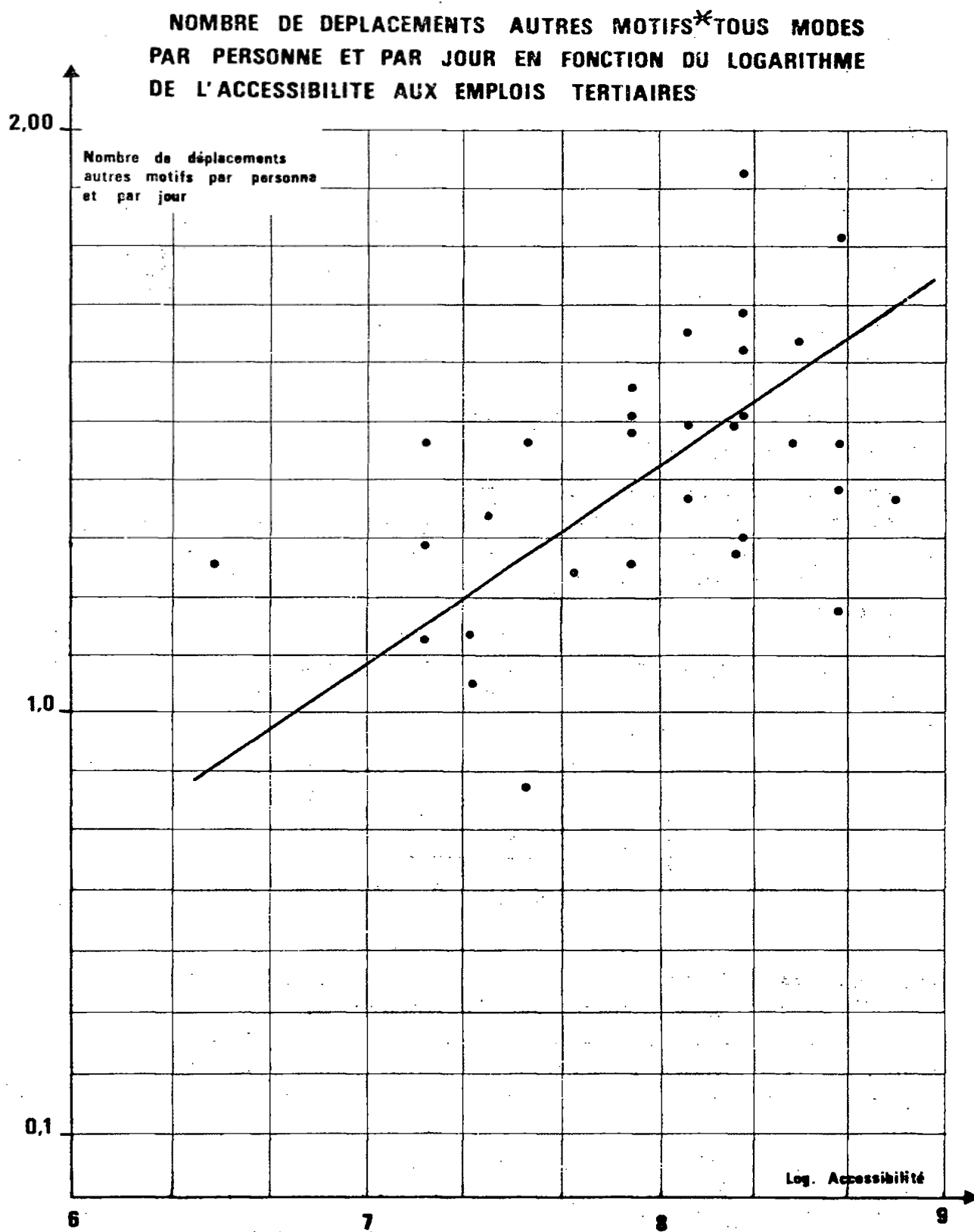
E_k = nombre d'emplois de la zone k ;

Le lecteur n'aura pas manqué de sursauter au vu de cette formule : il aura en effet reconnu la formulation exacte du modèle gravitaire classique¹¹, depuis longtemps utilisé avec succès dans la planification

11. De manière plus précise, il faut tenir compte explicitement des effets de concurrence entre actifs pour l'accès aux emplois ; la théorie de l'accessibilité aboutit alors, selon les hypothèses faites, à deux modèles gravitaires classiques : le modèle « à attractivité variable », ou le « gravitaire général ».

FIGURE 4

ROUEN



* Il s'agit des motifs autres que le travail.

des transports où il est d'ailleurs le plus répandu (mais avec, semble-t-il, peu de justifications théoriques jusqu'à présent).

Signalons de plus qu'il y a une bonne compatibilité entre le coefficient x_0 théorique et celui qui résulte des ajustements expérimentaux.

c) *Modèles de tendances d'urbanisation*

La possibilité de bâtir de tels modèles à partir de l'accessibilité a déjà été mentionnée à propos des applications à la planification urbaine¹².

De telles formules reposent cependant sur des hypothèses plus arbitraires que la formule analogue donnée pour les trafics. Elles sont donc moins fiables, d'autant plus qu'elles ne prennent en compte les autres critères de choix (liés à l'environnement par exemple) que de manière assez grossière.

C'est pourquoi, plutôt que de les considérer comme un modèle de prévision de l'urbanisation, il semble préférable de les utiliser à titre d'indicateur d'aptitude à l'urbanisation servant à déceler, en vue d'un examen plus approfondi, les zones où l'objectif d'urbanisation divergerait très fortement de la tendance « spontanée ». L'expérience étrangère montre d'ailleurs que les modèles d'urbanisation n'expliquent guère que 50 à 60 % de la variance et que, dans cette partie expliquée, l'accessibilité intervient dans les deux tiers à peu près. Ils constituent donc un outil utile, mais qu'il ne faut pas suivre aveuglément.

12. Supposons par exemple, que M. Dupont (nouvel habitant de l'agglomération) choisisse sa zone d'habitat en faisant un tirage aléatoire de l'utilité procurée par chaque site vacant (par exemple en interrogeant un voisin), puis en s'installant dans le logement qui a donné le meilleur résultat. Il est alors possible de montrer que l'urbanisation probable h_i d'une zone i est donnée par :

$$h_i = H \frac{L_i e^{\frac{\gamma_i - s_i + v_i}{x_0}}}{\sum_j L_j e^{\frac{\gamma_j - s_j + v_j}{x_0}}}$$

H = habitat nouveau global pour la période ;

L_i = capacité résiduelle de la zone i ;

γ_i = « coût annuel équivalent » des déplacements issus de i (voir note technique) ;

s_i = qualité du site, en francs équivalents annuels (positive pour un site meilleur que la moyenne, négative dans le cas contraire) ;

v_i = coût (équivalent annuel) de viabilisation et de construction du logement.

*
**

Parvenus au terme (provisoire) de ce périple intellectuel, nous pouvons mieux apprécier le chemin parcouru. Partant des incohérences manifestes des indicateurs économiques classiques d'utilité des transports urbains, nous avons pu bâtir un indicateur différent, échappant à ces contradictions. Il a été nécessaire pour cela de déborder de la stricte observation de ce qui se passait dans le système de transport et d'introduire des variables caractéristiques de la structure urbaine. Ce résultat nous paraît fondamental : l'utilité des déplacements urbains ne saurait provenir que de l'intérêt offert par les destinations possibles, le système de transport intervenant comme un masque ou un écran du fait de la gêne qu'il oppose à ces déplacements.

L'accessibilité gravitaire, déjà utilisée empiriquement dans le passé et qui occupe une place centrale dans la présente théorie, représente finalement le nombre de destinations que l'agglomération offre face à un besoin donné et donc la « liberté de choix » ; ce nombre est plus ou moins réduit par l'effet de filtre qu'exerce le réseau par le biais du facteur de conductance gravitaire.

La liberté de choix offerte au citoyen a un prix en termes économiques : voilà une conclusion essentielle, qui donne un sens particulièrement clair à « l'égalité des chances » que l'on souhaite offrir aux diverses catégories de citoyens.

Appliquée à la planification urbaine, la théorie économique de l'accessibilité permet de juger de manière synthétique du service rendu au citoyen par diverses variantes de réseau ou de développement urbain ; elle se prête de plus très facilement à des analyses catégorielles par mode de transport, par zone de résidence, par CSP d'actif ou par type de ménage. Enfin, elle permet d'apprécier la cohérence dynamique entre infrastructures et développement urbain pour chaque hypothèse envisagée.

Outil de travail essentiel pour le planificateur, la théorie de l'accessibilité est aussi une clé de voûte des modèles de prévision de trafic. Elle a en effet pour conséquence directe une distribution gravitaire des déplacements urbains, et bénéficie ainsi de la caution de toute la masse des travaux qui ont été consacrés de par le monde aux modèles gravitaires ; réciproquement, elle fournit à ces modèles une base théorique solide. Elle permet de plus d'expliquer et de quantifier la rétroaction de la qualité de l'offre sur la génération

de trafic, et l'apparition des trafics induits. Enfin, elle est à la base de modèles de tendances d'urbanisation et de répartition entre modes de transport, sur lesquels des recherches sont en cours.

Cette diversité d'utilisation, suscitée par le pouvoir explicatif considérable de l'accessibilité, permet d'esquisser à partir de cette notion-clé une sorte de théorie unitaire des déplacements urbains. Peut-être pourra-t-elle combler — au moins en partie — certaines insuffisances conceptuelles dont souffre la planification urbaine, et plus spécialement celle des transports urbains. Dans le domaine des transports urbains, auxquels la collectivité consacre chaque année en France plus de 5 milliards de francs d'investissements, et plusieurs dizaines de milliards de francs en coût généralisé de transport, un tel progrès ne serait sûrement pas inutile.

G. KOENIG

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique
Ingénieur des Ponts et Chaussées