MINISTERE DE L'ÉQUIPEMENT
ET DU LOGEMENT

MINISTERE DES TRANSPORTS

COMMISSION D'ÉTUDE DES COUTS
D'INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT

GROUPE DES TRANSPORTS URBAINS

SUR LES COUTS ET LA TARIFICATION DES TRANSPORTS URBAINS

Ce document constitue le quatrième rapport émanant de la Commission d'Etude des Coûts d'Infrastructure de Transport.

FEVRIER 1969

La Commission d'Etude des Coûts d'Infrastructure de transport, créée par décision du 23 mai 1966 de M. le Ministre de l'Equipement et du Logement et de M. le Secrétaire d'Etat aux Transports, a constitué, pour étudier les problèmes particuliers que posent les transports urbains, un Groupe de travail composé de :

MM. HAUTREUX,	Inspecteur Général de la Construction, membre de la Commission d'Etude des Coûts d'Infrastructure de transport, Président.
GAUDEL,	Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Chef des Services Techniques à la Direction Générale des Collectivités Locales, au Ministère de l'Intérieur, Vice-Président.
FREBAULT,	Ingénieur des Ponts et Chaussées, Direction des Transports Terrestres et Service des Etudes et Recherches de la Circulation Routière, Rapporteur.
MM. BARBIER,	Ingénieur des Ponts et Chaussées, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Parisienne.
BOTTON,	Ingénieur des Ponts et Chaussées, Secrétaire de la 3e Section du Conseil Général des Ponts et Chaussées.
CHAPULUT,	Ingénieur des Ponts et Chaussées, Direction des Transports Terrestres.
GERONDEAU,	Ingénieurs des Ponts et Chaussées, Service Technique Central d'Aménagement et d'Urbanisme.
GALLAS,	
QUINET,	Ingénieur des Ponts et Chaussées, Direction des Routes.
TARDIEU,	Ingénieurs des Ponts et Chaussées, Service des Affaires Economiques et Internationales.
YONCOURT,	

Ce rapport, établi par le Groupe des Transports Urbains, répond à la première mission qui lui était assignée : éclairer le sujet en en recueillant les principales données et en abordant la question de l'utilisation optimale des infrastructures ainsi que de la tarification capable d'y conduire.

Il a été délibéré et approuvé, dans sa séance du 13 mai 1969, par la Commission d'Etude des Coûts d'infrastructure de transport, dont on rappelle la composition :

MM. LAVAL,	Président de la 3e Section du Conseil Général des Ponts et Chaussées, Président.
LAVAILL,	Conseiller d'Etat.
ARTAUD-MACARI,	Inspecteur Général des Travaux Publics et des Transports.
VADOT,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées.
LE VERT,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées.
BRINGER,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées.
EISENMANN,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées.
JUNGELSON,	Ingénieur Général des Ponts et Chaussées.
HAUTREUX,	Inspecteur Général de la Construction.
CHARMEIL,	Ingénieur des Ponts et Chaussées.
BOTTON,	Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Les divers services et organismes qui, au prix de travaux parfois lourds, ont fourni la documentation ayant servi de base à cette étude voudront bien se voir ici remerciés de leur concours. Outre ceux représentés au sein du Groupe de travail, ce sont principalement les suivants :

Service Régional et Directions Départementales de l'Equipement de la Région Parisienne, Préfecture de Police,

Société Nationale des Chemins de Fer Français,

Régie Autonome des Transports Parisiens,

Directions Départementales de l'Equipement des Bouches-du-Rhône, de la Haute-Garonne du Calvados et de l'Eure,

Services Techniques Municipaux de Marseille, Toulouse, Caen et Evreux,

Groupe Technique Accidents de l'Association générale des sociétés d'assurances contre les accidents.

Introduction

Assurer le meilleur emploi, sous l'angle économique, des infrastructures de transport dont sont dotées les villes, comment y concourir par l'application à leurs usagers de tarifs adéquats ? Tel est l'objet de cette étude.

Or les transports urbains présentent à maints égards, des caractères spécifiques, conséquences de l'interdépendance des différents aspects du fonctionnement et du développement d'une ville. L'une des raisons d'être de la vie citadine est en effet la communication entre les habitants, les échanges entre les multiples activités. Les déplacements de personnes et de marchandises font donc partie intégrante de la vie quotidienne ; ils participent à son rythme ; leur importance et leur complexité grandissent en même temps que la cité ; leur structure en modèle l'expansion.

Dès lors, il est clair que la tarification ne saurait être considérée seulement comme un moyen de mieux utiliser et de financer des infrastructures de transport. Outre ses conséquences directes sur la gestion financière des organismes qui en ont la charge ou en usent, elle peut avoir aussi de nombreux effets sur le développement urbain, la politique d'urbanisme, les prix fonciers et bien d'autres secteurs de la vie économique et sociale.

Du fait de cette intime imbrication entre les problèmes de transport et les autres aspects de la vie urbaine, beaucoup plus marquée que la classique interdépendance des différents secteurs économiques, on pouvait se demander s'il était de bonne méthode d'isoler par le raisonnement le champ de cette étude de son contexte.

Malheureusement, traiter le problème des transports urbains dans toute son ampleur et toutes ses implications est impossible en l'état présent des connaissances. C'est pourquoi il n'a semblé ni illégitime, ni dénué d'utilité de faire le point des connaissances actuelles sur les trafics, la demande de transport et les coûts en milieu urbain, de recueillir les données de fait disponibles dans ces domaines et d'envisager le problème de la tarification du seul point de vue de l'utilisation optimale des infrastructures, sous réserve de ne pas perdre de vue que ces résultats d'une approche classique d'économie des transports devront être examinés et sans doute pondérés à la lumière d'autres critères.

Des recherches similaires ont déjà connu un large développement en Grande Bretagne, sur l'initiative du Ministère des Transports (**réf. 1 à 7**). Elles ont porté essentiellement sur la tarification des infrastructures de voirie (ou « Road Pricing »).

On s'est ici particulièrement attaché :

à poser le problème dans sa généralité, en considérant tous les modes de transports urbains (1) et en suivant de bout en bout le processus pouvant conduire à l'application d'une tarification optimale, depuis l'analyse des trafics jusqu'à la mise en place d'un système de perception ;

à approfondir la réflexion théorique, en dégageant notamment la portée et les limites des enseignements de la théorie économique ;

à asseoir cette réflexion sur un support concret, en s'efforçant de chiffrer les trafics et les coûts dans quelques agglomérations françaises prises comme exemple ; et même, pour ceux d'entre eux qui n'étaient connus que très approximativement, on n'a pas craint de donner, en le signalant, des résultats qui ne sont que des ordres de grandeur, pensant que cela valait mieux que leur absence.

Cette étude comprend **cinq parties :**

Dans la première, consacrée aux trafics, on indique l'ordre de grandeur et les principales caractéristiques de ceux-ci dans quelques villes françaises prises comme exemple.

La deuxième partie fait le point des connaissances actuelles sur la demande de transport, tant en ce qui concerne les modèles théoriques que les données expérimentales.

Dans la troisième on recense et on tente d'évaluer les différents coûts des transports urbains : coûts d'infrastructure et de fonctionnement, valeur attachée au temps passé, coûts sociaux, etc...

Le problème de la tarification est abordé dans la quatrième partie, essentiellement sous l'angle de la meilleure utilisation des infrastructures.

Enfin, la cinquième partie envisage les diverses possibilités de perception des coûts de l'automobile.

(1) Néanmoins, étant donné l'insuffisance des connaissances actuelles sur les transports de marchandises, ce sont surtout les transports de personnes qui ont été abordés.

CHAPITRE I.

Les Trafics

I. — DEFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS.

Les études de transports urbains font appel à une terminologie propre dont il est utile de rappeler la définition de certains termes, pour éviter toute ambiguité.

Le bien auquel on s'intéresse est le **déplacement** d'une personne ou d'une marchandise entre une **origine** et une **destination.**

Il peut se décomposer en autant de **trajets** élémentaires que de **modes de transports** utilisés. Par exemple, pour aller du domicile au lieu de travail, ce seront successivement la marche à pied, l'autobus, le métro, la marche à pied.

Une même personne organise au mieux ses déplacements de la journée en les intégrant dans un ou plusieurs circuits ; on les appelle **boucles** ou **chaînes** de déplacements.

Chaque déplacement peut se caractériser par différents aspects que l'on peut classer de la manière suivante :

1) L'OBJET DU DÉPLACEMENT.

TRANSPORTS DE PERSONNES

Les déplacements de personnes peuvent être distingués selon ce que l'on appelle le **motif** (1). Le motif indique, en quelque sorte, l'objet de la présence de l'individu à l'origine ou à la destination du déplacement : domicile, travail, achats, affaires, loisirs, etc...

(1) Au sens qui est donné à ce terme dans les études de transport il s'agit donc de la constatation d'une situation de fait, et non d'une appréciation sur les raisons pour lesquelles une personne se trouve en tel ou tel lieu ou effectue tel ou tel déplacement.

On distingue aussi :

— les déplacements **primaires,** ayant une extrémité au domicile, parmi lesquels :
  les déplacements « **domicile-travail** » (et retour) ou **migrations alternantes**
  les déplacements « **domicile-autres motifs** » (et retour)
— les déplacements **secondaires,** n'ayant pas d'extrémité au domicile : par exemple, travail - affaires, travail - achats, etc...

TRANSPORTS DE MARCHANDISES

On ne saurait les négliger, bien que les transports de personnes constituent, en général, la part essentielle du trafic de véhicules routiers, surtout aux heures de pointe. Malheureusement les études les concernant sont encore peu nombreuses.

Parmi les motifs de déplacement, il faut particulièrement signaler les livraisons (aux magasins, aux particuliers...) qui constituent une part importante du trafic.

STATIONNEMENT

Le stationnement constitue en fait une partie terminale nécessaire à tout déplacement de véhicule automobile. Il faut distinguer le stationnement sur la voirie publique et dans les parkings privés. Il peut être payant ou gratuit.

Des problèmes différents sont posés par :

— le stationnement lié au logement.
— le stationnement des travailleurs sur le lieu de leur emploi (longue durée),
— le stationnement pour les « autres motifs » : achats, affaires, etc... (de courte durée généralement),
— le stationnement pour les livraisons, etc...

2) L'ORIGINE ET LA DESTINATION DU DÉPLACEMENT

On distingue :

— le trafic de **transit,** traversant la ville sans y avoir ni son origine, ni sa destination,
— le trafic d'**échange,** ayant une extrémité dans l'agglomération.

Ces trafics, de caractère interurbain, doivent cependant être pris en compte dans les transports urbains.

— le trafic **interne.** C'est le cas des « livraisons » pour le trafic marchandises, à l'opposé du trafic d'acheminement, en général interurbain.

Dans les études de transport, on découpe l'agglomération en **zones.** C'est généralement par la zone où elle se trouve que l'on définit l'origine ou la destination d'un déplacement.

3) L'HEURE DU DÉPLACEMENT

Les enquêtes de circulation et de transport s'intéressent, en règle générale, à un jour ouvrable moyen. Cependant, l'intensité des trafics varie fortement d'une heure à l'autre. Cela conduit à distinguer d'une part les **heures creuses,** d'autre part les **heures de pointe** du matin, du soir et même de la mi-journée. (Dans les villes de province, les pointes de trafic vers midi et 14 heures sont encore très fortes, la journée continue étant peu développée).

D'autres variations de trafic, que l'on se borne à mentionner ici, sont liées au cycle hebdomadaire (pointes de week-end).

4) LES MODES DE TRANSPORT ET L'INFRASTRUCTURE UTILISÉE

En ce qui concerne les transports urbains de personnes, les infrastructures qui leur sont affectées et les véhicules qui les empruntent peuvent être très variés, comme le montre le tableau suivant (qui ne fait pas mention de moyens peu utilisés : bateau, hélicoptère... ni de modes de transports nouveaux tels que métro suspendu, etc...).

Les modes de transport et les infrastructures utilisés par les transports urbains

Modes de transport / Infrastructures	Modes de transport individuels				Modes de transport collectifs						
	Marche à pied	2 Roues	Voiture particulière	Taxi	Taxi collectif	Autobus	Autocar	Trolleybus	Tramway	Métro	Train de banlieue
Trottoirs et voirie piétonnière	×										
Voirie générale	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
Parties réservées de la voirie générale (bandes réservées aux autobus, pistes cyclables...)		×		×	×	×	×	×	×		
Voirie autoroutière			×	×	×	×	×				
Réseau ferré spécialisé										×	
Réseau ferré général (SNCF)											×

L'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Parisienne (I.A.U.R.P.) fait intervenir, dans le cas des déplacements où l'usager a recours successivement à plusieurs modes de transport, le mode « **principal** », qui est celui dont on admet que le choix constitue de la part de l'intéressé la décision majeure. Par définition, on considère comme principal celui des modes utilisés qui a le meilleur rang dans une certaine hiérarchie des modes de transport fixée a priori (comprenant notamment, dans l'ordre, le chemin de fer, l'autobus suburbain, l'autobus urbain, le métro, la voiture particulière). Par exemple, le mode principal est le chemin de fer pour l'usager qui emploie successivement sa voiture (jusqu'à la gare), le chemin de fer de banlieue, le métro et la marche à pied.

Quant aux transports de marchandises, on notera que le trafic urbain interne s'effectue presque exclusivement par véhicules automobiles, de caractéristiques d'ailleurs très variées puisqu'ils vont du triporteur au poids lourd.

II. — LES TRAFICS DANS QUELQUES VILLES FRANÇAISES

On s'est proposé dans cette section de faire connaître, ne fût-ce parfois qu'en ordre de grandeur, l'importance des déplacements de personnes, leur répartition selon diverses caractéristiques ainsi que l'état d'encombrement du réseau de voirie.

Ces données ne pouvaient bien entendu, non plus que celles concernant les coûts d'investissements et d'utilisation des infrastructures traités au chapitre III, être recherchées pour la totalité des villes françaises. Aussi s'est-on borné à recueillir les unes et les autres pour un échantillon de 5 agglomérations capables de présenter un raccourci du réseau urbain français.

Les villes choisies à cette fin remplissent les conditions suivantes :

— être réparties sur l'échelle des tailles, de la plus grande à l'une des plus petites de celles dans lesquelles existent des moyens de transport en commun ;
— remplir dans le réseau urbain des fonctions différentes : capitale nationale, métropoles d'équilibre, capitale régionale, préfecture ;
— avoir fait l'objet d'une enquête de circulation récente.

L'échantillon est ainsi constitué des agglomérations de :

PARIS	comptant en 1968	.....	8.700.000 habitants
MARSEILLE	»	.....	964.412 »
TOULOUSE	»	.....	439.764 »
CAEN	»	.....	152.332 »
EVREUX	»	.....	46.119 »

dont les limites sont celles retenues par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) pour le recensement de 1968, en y ajoutant pour Paris les zones d'attraction et les zones d'extension nouvelles.

Les résultats concernant le trafic, qui sont donnés aux § 1, 2 et 3 ci-après proviennent d'enquêtes de circulation par interviews de ménages à leur domicile. Ce sont l'« enquête pilote » effectuée dans la Région Parisienne en 1965 et des enquêtes du Service des Etudes et Recherches de la Circulation Routière (SERC) faites dans les villes de province en 1966. Les chiffres donnés se rapportent donc tous à ces deux années. Par ces enquêtes, on n'obtient que le trafic **interne** de l'agglomération ; le trafic de transit et celui correspondant à des déplacements de personnes n'habitant pas l'agglomération en sont exclus. L'incidence de cette omission est négligeable dans la Région Parisienne ; il n'en est pas de même par exemple à CAEN ou EVREUX car plus la taille de l'agglomération est faible, plus la part du trafic de transit est élevée.

Cette « photographie » de l'état actuel décrit l'équilibre qui existe entre la demande et l'offre, cette dernière étant caractérisée par la capacité des infrastructures existantes, leur mode d'exploitation et leur tarification.

1) LES TAUX DE MOTORISATION

Le taux de motorisation est un des facteurs explicatifs essentiels du nombre de déplacements effectués et de leur répartition entre modes de transport. S'il dépend du revenu des

ménages, il est aussi lié aux possibilités offertes par les transports en commun et aux conditions d'accessibilité (difficultés de circulation et de stationnement), qui sont moins bonnes dans les grandes cités et particulièrement dans leurs centres. C'est ce qui explique en partie que le taux de motorisation soit en général plus élevé dans les petites villes.

Nombre de voitures particulières par ménage, en 1965-1966

REGION PARISIENNE	0,53
dont PARIS	0,43
MARSEILLE	0,57
TOULOUSE	0,66
CAEN	0,75
EVREUX	0,76

2) LE NOMBRE DE DÉPLACEMENTS — LEUR RÉPARTITION PAR MOTIFS

Le nombre moyen, par ménage ou par personne et par jour, des déplacements faisant appel à un moyen de transport, c'est-à-dire marche à pied exclue, est le suivant :

Nombre de déplacements par jour
(marche à pied exclue), en 1965-1966

	par ménage	par personne
REGION PARISIENNE	3,5	1,2
MARSEILLE	4,3	1,4
TOULOUSE	5,3	1,8
CAEN	5,5	1,8
EVREUX	5,5	1,6

Aux Etats-Unis, où le taux de motorisation est beaucoup plus élevé, on compte environ 7 déplacements par ménage. Mais la marche à pied joue encore un rôle important en France : elle représente 57 % de l'ensemble des déplacements à MARSEILLE, 39 % à TOULOUSE, 38 % à CAEN, 34 % à EVREUX.

La répartition des déplacements entre les divers motifs révèle la prépondérance des déplacements « primaires » ayant une extrémité au domicile :

Répartition des déplacements par motifs, en 1965-1966

	Domicile-travail et retour	Domicile-Autres motifs et retour	Déplacements secondaires
RÉGION PARISIENNE	50 %	38 %	12 %
MARSEILLE	37 %	42 1/4	21 1/4
TOULOUSE	36 %	46 %	18 %
CAEN	43 %	43 %	14 %
ÉVREUX	42 1/4	43 1/4	15 1/4

Le tableau suivant donne à cet égard pour la Région Parisienne une décomposition plus poussée.

Nombre de déplacements par motif à l'origine et à la destination dans la Région Parisienne, en 1965
(en milliers de déplacements par jour)

Destination / Origine	Domicile	Travail	Affaire	Achat	Loisirs	Autres	Total
Domicile		2.830	190	645	425	910	5.000
Travail	2.830						3.450
Affaires	190						480
Achats	645			1.400			880
Loisirs	425						485
Autres	910						1.100
Total	**5.000**	3.455	480	880	485	1.100	**11.400**

3) LA RÉPARTITION ENTRE MODES DE TRANSPORTS (1) (2)

Dans la Région Parisienne, les transports en commun, pour une grande part en site propre, sont beaucoup plus attractifs que dans les villes de province. On notera dans celles-ci l'importance de l'utilisation des deux roues, spécialement dans les plus petites villes et une utilisation toujours prédominante de la voiture particulière.

---

(1) Pour la Région Parisienne, lorsqu'un déplacement fait appel à plusieurs modes, c'est le « mode principal » (dont la définition a été donnée plus haut en 1,4) qui est pris en compte dans les divers tableaux.

(2) Dans ce rapport, on utilisera fréquemment pour les modes de transport les abréviations suivantes :
VP = Passagers et conducteurs des voitures des particuliers et des entreprises.
TC = Passagers des transports en commun (Métro, S.N.C.F., Autobus, Transport par l'employeur).
2R = 2 roues.
Divers = Autres moyens (taxis, ramassage scolaire, etc.) et indéterminés.

Répartition des déplacements entre modes de transport
en 1965-1966

	VP	TC	2R	Divers
RÉGION PARISIENNE	35 %	51 %	13 %	1 %
MARSEILLE	57 %	28 %	11 %	4 %
TOULOUSE	50 %	22 %	25 %	3 %
CAEN	58 %	9 %	32 %	1 %
ÉVREUX	64 %	6 %	30 %	0 %

On peut pour la Région Parisienne préciser la part respective des différents transports publics :

REPARTITION ENTRE LES MODES DE TRANSPORT EN COMMUN
Dans la Région Parisienne
Trafic annuel en 1965

R.A.T.P.	Autobus	750.724.000
	Métro	1.201.517.000
	Ligne de Sceaux	52.942.000
S.N.C.F.	Banlieue	363.000.000

Dans les autres agglomérations, la quasi-totalité du trafic en transports en commun est assurée par les autobus (à MARSEILLE la S.N.C.F. assure 0,8 % des déplacements, le transport par l'employeur 1,3 %).

Mais l'analyse de la répartition entre modes de transport doit distinguer les différentes origines et destinations. On sait en effet que les transports publics prennent une part plus importante des déplacements ayant une extrémité dans le centre.

Répartition entre les modes de transport des déplacements dans la Région Parisienne, selon leur origine et destination, en 1965

	Déplacements tous motifs									Migrations alternantes				
	Transports en commun					Transports individuels			Total général					
	SNCF	Métro	Autobus	Divers	Total TC	VP	2R	Divers		TC	VP	2R	Divers	Total
Dans PARIS		51 %	16 %	2 %	69 %	22 %	5 %	4 %	100 %	76 %	21 %	3 %		100 %
Entre PARIS et banlieue	29 %	15 %	22 %	2 %	68 %	29 %	2 %	1 %	100 %	77 %	15 %	6 %	2 %	100 %
Banlieue à banlieue	8 %	1 %	17 %	2 %	28 %	46 %	25 %	1 %	100 %	26 %	39 %	31 %	4 %	100 %

Répartition entre les modes de transport, dans les villes de province, des déplacements ayant une extrémité dans le centre, en 1966

	Déplacements tous motifs ayant une extrémité dans le centre				Migration alternantes ayant une extrémité dans le centre			
	VP	TC	2R	Divers	VP	TC	2R	Divers
MARSEILLE	51 %	38 %	7,5 %	3,5 %	44 %	44 %	10 %	2 %
TOULOUSE	47 %	31 %	22 %					
CAEN	60 %	9 %	31 %					
EVREUX	73 %	5 %	22 %		56 %	3 %	40 %	1 %

La répartition entre modes de transport varie également selon le motif et en fonction de l'heure de la journée. Les enquêtes fournissent des résultats détaillés auxquels on pourra se reporter. Pour l'essentiel, on note que la voiture est fortement utilisée pour les déplacements secondaires (de l'ordre de 80 % dans les villes de province) et qu'aux heures de pointe, les transports en commun, assurant un meilleur service, sont (en pourcentage) plus employés que dans le reste de la journée. Le cœfficient de pointe, qui est défini comme le rapport entre le trafic de l'heure de pointe au trafic total de la journée, est de l'ordre de 10 % en province (13 % environ en Région Parisienne, où les pointes de mi-journée sont très faibles) pour l'ensemble des moyens de transport, et de 12 % environ pour les transports en commun (plus de 15 % en Région Parisienne).

4) FLUCTUATIONS HORAIRES DES TRAFICS ET DES TEMPS DE PARCOURS SUR LE RÉSEAU DE VOIRIE.

On verra au chapitre III que les coûts relatifs aux déplacements des véhicules routiers (coûts de fonctionnement, de congestion, etc...) varient en fonction de la vitesse et du degré de saturation du réseau de voirie.

Quelques mesures effectuées en Région Parisienne permettent de s'en faire une idée.

Le graphique ci-après indique les fluctuations du débit sur le boulevard Saint-Germain, en 1963. Si l'on admet que la capacité de ce tronçon est mesurée par le débit maximum observé, qui est d'environ 2.100 véhicules/heure, on peut en déduire le taux de saturation, défini comme le rapport du débit à la capacité, et observer sa variation en fonction de l'heure (1).

On constate ainsi que le taux de saturation est supérieur à la valeur 0,8 entre 8 h. et 20 h., sauf de 13 h. à 14 h. Aussi bien s'agit-il d'une des plus importantes artères du cœur de Paris.

(1) Il faut souligner que, s'il y a bloquage en un point aval, la formation de files d'attente peut conduire à mesurer en fait en un point du tronçon des débits inférieurs à la capacité.

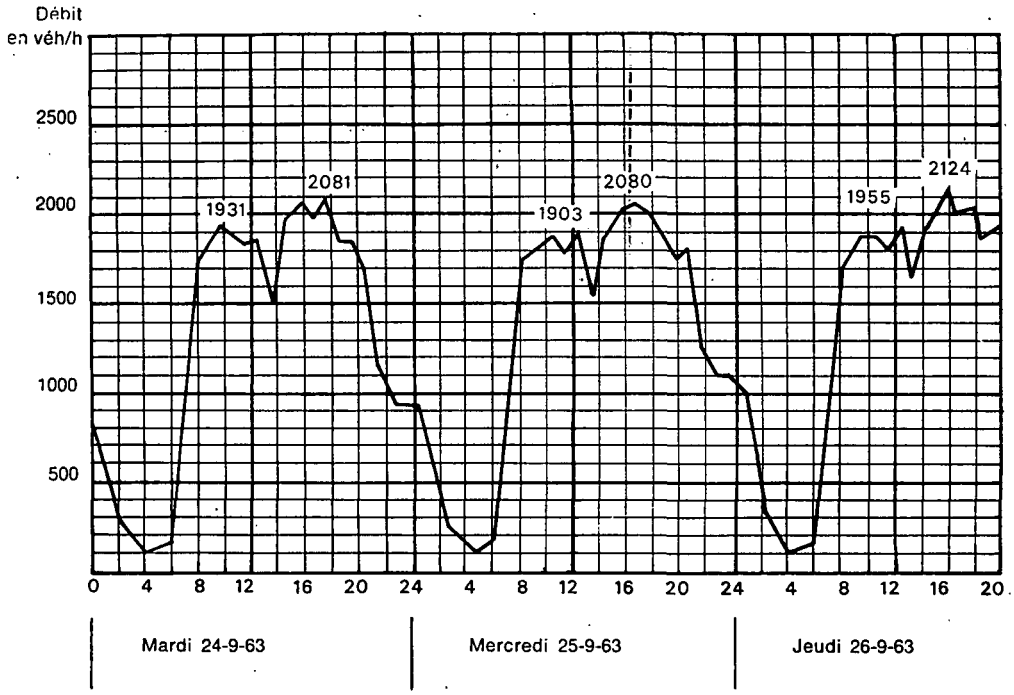
D'autres mesures effectuées en 1966 par le S.E.R.C. sur un circuit de 23 km dans PARIS (1), comprenant des sections de caractérisques diverses, ont aussi eu pour objet d'étudier les fluctuations de la vitesse moyenne. On a observé que celle-ci n'est pas la même selon le sens de parcours sur le circuit.

Des relations vitesse-débit mesurées également à PARIS (voir chapitre III, section VIII, § 1) ont permis d'établir une correspondance approximative entre vitesse et taux de saturation :

Relation entre le taux de saturation et la vitesse sur voie urbaine

Taux de saturation	Vitesse moyenne approximative
0 à 0,4	35 à 50 km/h
0,6	30 km/h
0,8	20 km/h
1	15 km/h
Supérieur à 1	Inférieure à 15 km/h

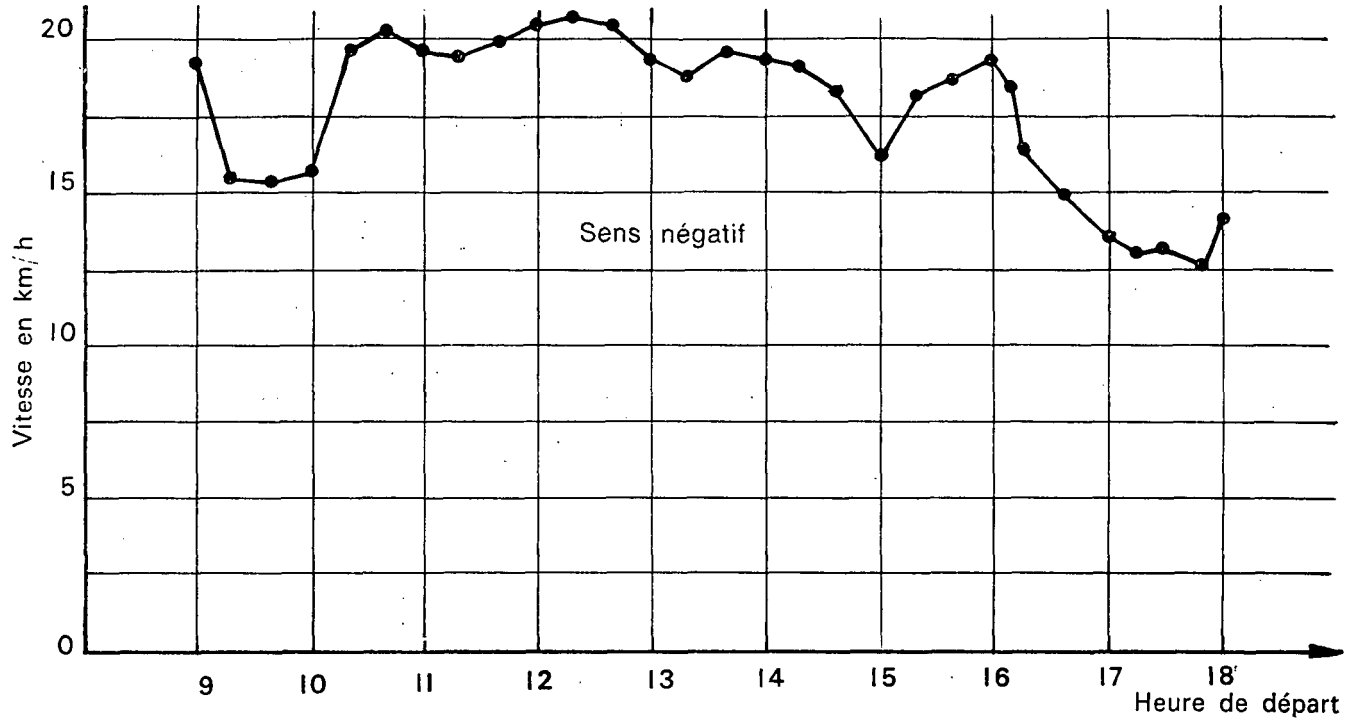
FLUCTUATIONS HORAIRES DU DEBIT SUR LE BOULEVARD ST-GERMAIN - 1963
(sens Concorde-Raspail - Compteur au n° 225)

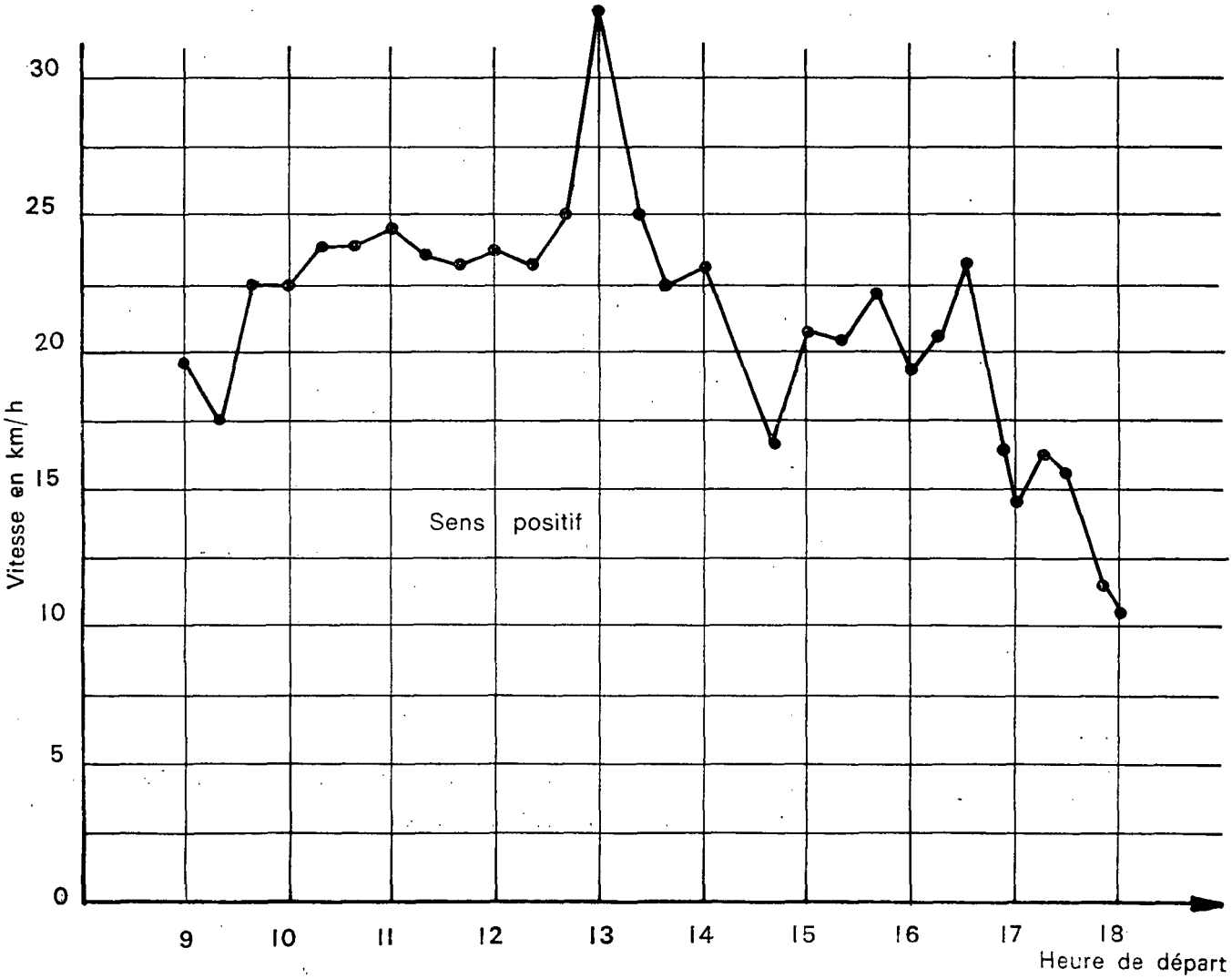


Source : Préfecture de la Seine - Direction Technique de la Voirie parisienne.

(1) Ce circuit reliait les principaux points suivants :
Porte d'Italie - Pont d'Austerlitz - Place de la République - Boulevard de Rochechouart - Place de l'Etoile - Pont d'Iéna - Invalides - Porte d'Orléans - Porte d'Italie.
Le sens « positif » correspond au parcours du circuit dans cet ordre **(réf. 8)**.

VITESSE MOYENNE RÉALISÉE SUR UN CIRCUIT DE 23 KM DANS PARIS
(Mesures effectuées par le S.E.R.C. en 1966 - **réf. 8**)





Les vitesses observées permettent, à partir de cette correspondance, de conclure que le taux de saturation est certainement supérieur à 1 à partir de 17 h. Pendant le reste de la journée, où la vitesse est le plus souvent inférieure à 20 km/h dans le sens négatif et 25 km/h dans le sens positif, les taux de saturation sont supérieurs à 0,7 et 0,8.

5) **KILOMÉTRAGE PARCOURUS SUR LE RÉSEAU DE VOIRIE**

Cette donnée est utile à connaître lorsqu'on désire rapporter les coûts moyens au véhicule-km ; elle ne peut se calculer que très approximativement.

RÉGION PARISIENNE

On peut se baser sur la consommation d'essence qui a été en 1965 :

Région Parisienne (Seine, Seine-et-Oise, Seine-et-Marne)	:	2.128.000.000 litres
Ancien département de la Seine	:	1.363.000.000 litres

Si l'on considère que la consommation d'essence d'une automobile moyenne est en ville, dans la Région Parisienne, de 12 litres aux 100 km, on peut estimer comme suit le **nombre de véhicules/km parcourus en 1965 par les véhicules fonctionnant à l'essence** (voitures de tourisme, camionnettes, etc...) dont les voitures particulières représentent évidemment la plus grande part :

Région Parisienne	:	18.000.000.000 v.km
Ancien département de la Seine	:	11.000.000.000 v.km

Selon les estimations de la Direction de la Voirie Parisienne, le nombre de véhicules-km s'élèverait dans Paris intra-muros à : 4.700.000.000 v.km

VILLES DE PROVINCE

Des comptages effectués par le S.E.R.C. dans quelques villes ont permis d'y évaluer approximativement le nombre de véhicules-km (**Poids lourds et trafic de transit compris**) parcouru en agglomération :

Kilométrage parcouru sur le réseau de voirie, en 1966
en véhicules-km

	par jour (moyenne sur l'année)	**par an**
TOULOUSE	2.300.000	839.500.000
RENNES	1.300.000	474.500.000
DIJON	800.000	292.000.000
CHATEAUROUX	260.000	94.900.000
CHERBOURG	90.000	32.850.000

Une extrapolation, tenant compte des populations et du taux de motorisation des villes choisies comme échantillon, conduit à proposer pour 1965 les chiffres suivants, qui comportent toutefois une grande imprécision (sauf pour TOULOUSE) pouvant facilement atteindre 25 %.

Kilométrage parcouru sur le réseau de voirie, en 1965
en véhicules-km

MARSEILLE	2.000.000.000
TOULOUSE	800.000.000
CAEN	200.000.000
EVREUX	50.000.000

PARCOURS ANNUEL MOYEN DES VOITURES PARTICULIÈRES

Le kilométrage parcouru annuellement dans une agglomération par l'ensemble des voitures particulières de ses résidents peut être approximativement connu en retranchant (à l'estime, faute de données statistiques), du nombre de véhicules-km parcourus annuellement, le trafic de marchandises et les trafics d'échange et de transit, la part relative de ce dernier étant d'ailleurs d'autant plus grande que l'agglomération est plus petite.

Le rapprochement de ce kilométrage et du parc automobile, calculé à l'aide des taux de motorisation, permet de déterminer approximativement le parcours moyen annuel d'une voiture.

Ces résultats sont évidemment entachés d'une forte imprécision et on les considérera plutôt comme des indications valables pour des villes d'une certaine taille.

Parcours annuel moyen en zone urbaine d'une voiture particulière, en 1965

— Région Parisienne (Seine, Seine-et-Oise, Seine-et-Marne)	7 à 10.000 km
— Villes de l'ordre de 1.000.000 d'habitants (Marseille)	6 à 9.000 km
— Villes de l'ordre de 400 à 500.000 habitants (Toulouse)	5 à 7.000 km
— Villes de l'ordre de 40 à 200.000 habitants (Caen, Evreux)	2 à 5.000 km

Ces chiffres peuvent être rapprochés du kilométrage annuel moyen des automobilistes habitant les agglomérations, évalué pour l'ensemble de la France à 12.000 km environ.

Conclusion

Les transports urbains sont d'une importance considérable tant par le nombre des déplacements que par leur kilométrage total. Leurs débits sont de loin les plus forts.

Les déplacements quotidiens entre le domicile et le lieu de travail y jouent un rôle pré dominant. S'effectuant presque tous aux mêmes heures, ils sont les principaux responsables des phénomènes de pointe, qui s'accompagnent trop fréquemment de la congestion des réseaux, et caractérisent de ce fait le mauvais fonctionnement d'un système de transport. Ces problèmes se posent essentiellement pour les déplacements vers les centres, pôles traditionnels de la vie urbaine dans les agglomérations françaises.

En province, la majorité des déplacements sont effectués en voiture particulière. Cependant le rôle des transports en commun, d'autant plus important que les villes sont plus grandes, reste essentiel. A PARIS, il devient prédominant.

CHAPITRE II.

La Demande de Transport

L'étude de la tarification, et plus généralement de l'organisation des transports urbains, exige une connaissance convenable des lois qui régissent le comportement des usagers.

Tout changement dans la tarification appliquée, dans les coûts ressentis par les usagers et dans la qualité du service offert par les transports conduit en effet à une modification des comportements.

Dans ce chapitre on précisera tout d'abord la notion de « demande » de transport en milieu urbain, puis on étudiera les modèles de trafic disponibles et déjà utilisés dans les études théoriques ; enfin on donnera les résultats de mesures expérimentales effectuées à l'occasion de modifications des tarifs.

I. — LA NOTION DE DEMANDE DE TRANSPORT.

1) LA COMPLEXITÉ DU PROBLÈME.

En règle générale, un bien est d'autant plus « demandé » sur le marché qu'il coûte moins cher. La loi de demande exprime comment varie sa consommation en fonction de son prix. Par exemple, on étudie quelle est l'influence des tarifs ou, plus généralement, des coûts ressentis par les usagers, sur le nombre de déplacements d'une catégorie donnée.

En un sens plus extensif, l'étude de la demande est celle de l'incidence de tous les facteurs qui déterminent le comportement des usagers.

Il importe cependant au préalable de définir avec précision le bien ou le service concerné et d'examiner l'ensemble des facteurs qui, à court ou à long terme, peuvent avoir une influence sur les comportements. Cette précaution apparaît particulièrement importante en matière de transport urbain pour plusieurs raisons :

— La qualité du service offert à l'usager est un paramètre qu'il faut d'autant plus prendre en considération qu'il varie souvent en fonction de la fréquentation, qui dépend elle-même du tarif.

Dans certains cas, on peut déterminer un équivalent monétaire d'un paramètre de qualité par exemple du temps de parcours ; cet équivalent peut alors être ajouté aux dépenses directement payées en argent par l'usager, dites **coût monétaire,** pour constituer le **coût généralisé.**

Dans d'autres cas, faute souvent qu'on sache le faire, le paramètre de qualité n'est pas intégré dans un coût généralisé, bien qu'il joue dans la loi de la demande un rôle analogue au prix, en ce sens que l'usager le considère comme un agrément auquel il accorde une certaine valeur ou comme un inconvénient qu'il assimile mentalement à un coût ; le degré de confort est fréquemment traité de cette façon.

— Dans les modèles habituellement utilisés, la demande de l'usager pour un déplacement défini est indépendante de sa demande d'autres déplacements au cours de la journée et, a fortiori, de sa demande d'autres biens ; on considère que l'usager s'est préalablement décidé pour le choix d'une période et non d'une autre, d'un mode, d'un itinéraire, etc...

La réalité apparaît sensiblement plus compliquée. Ainsi, dans la Région parisienne, 12 % des déplacements n'ont ni leur origine ni leur destination au lieu de domicile : ils ne sont donc pas indépendants, notamment quant au choix du mode, de ceux qui les précèdent et les suivent dans la journée de l'usager. Il apparaît de plus en plus nécessaire, dans les études de la demande de transport, de s'attacher à l'étude des « chaînes » plutôt qu'à celle des déplacements élémentaires.

— En outre, si certains choix en matière de transport se font au niveau de l'ensemble des déplacements de la journée, d'autres encore se font en considérant des périodes de temps plus longues : l'achat d'une automobile par exemple. Ainsi, dans les nouvelles études de transport, on prévoit souvent de traiter séparément l'évolution du taux de motorisation, le résultat de ce choix devenant un paramètre exogène pour les décisions quotidiennes des ménages.

— Enfin, la demande à un instant donné dépend étroitement de décisions souvent prises à des époques antérieures et engageant l'avenir à long terme : localisation des logements, des activités, des équipements collectifs et des commerces, organisation de la production et des rythmes de la vie économique, etc...

On voit bien qu'il ne saurait exister aujourd'hui une analyse complète de la demande de transport urbain. Les modèles que l'on pourra présenter n'embrassent pas la question dans toute son ampleur et, dans chaque cas, il faudra choisir le mieux adapté au problème à traiter.

2) LE FONDEMENT THÉORIQUE DES MODÈLES ÉCONOMÉTRIQUES.

Plus les ressources d'un individu sont restreintes, plus sont limités, en nombre et en qualité, les biens qu'il est capable d'acquérir et plus, par conséquent, il est astreint à faire entre eux des choix.

Le calcul économique permet d'approfondir cette constatation de bon sens et de l'exprimer quantitativement.

On admet classiquement (1) que la satisfaction S d'un individu n'est fonction que de ses consommations q_i, i désignant chaque bien capable de rendre un service bien défini, et que son comportement résulte de la recherche de la satisfaction maximale que permettent les contraintes économiques et sociales auxquelles il est soumis.

En pratique, on considère deux contraintes fondamentales :

— la première exprime que le budget de consommation de l'intéressé est limité ;
— la seconde que le temps qu'il peut consacrer aux différentes consommations est limité.

Si l'on appelle p_i le prix unitaire du bien i, t_i, le temps unitaire de sa consommation, r le revenu de l'individu et T son temps total disponible, cela s'écrit :

$$\text{Max} \quad S(q_i) \qquad\qquad i = 1, \ldots n$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} p_i q_i = r \\ \sum_{i=1}^{n} t_i q_i = T \end{cases}$$

La résolution de ce système conduit à l'existence de coefficients λ, μ tels que :

$$\frac{\dfrac{\partial s}{\partial q_i}}{p_i + \dfrac{\mu}{\lambda} t_i} = \frac{\dfrac{\partial s}{\partial q_j}}{p_j + \dfrac{\mu}{\lambda} t_j} \ldots = \frac{1}{\lambda}$$

pour tout bien i, j... et pour un individu donné.

Si l'on appelle $\dfrac{\mu}{\lambda} = \theta$ la valeur unitaire attribuée au temps par l'individu considéré, on peut dire que celui-ci **adapte son comportement de façon que l'utilité marginale procurée par un bien i soit proportionnelle au prix généralisé π_i, somme du prix du bien et de l'équivalent monétaire du temps passé à sa consommation.**

(1) cf. J. LESOURNE - *Le calcul économique.*

Il faut évidemment souligner le caractère simplifié de cette approche : la valeur du temps θ n'est certainement pas ressentie de façon constante par un même individu, indépendamment des circonstances et du moment. Elle n'est pas non plus identique chez deux personnes différentes : le prix généralisé π_i d'un même bien i n'est donc pas le même pour tout individu.

La résolution du système d'équations par rapport aux qi fait alors apparaître les **lois de demande :**

$$q_i = f_i \quad (\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_n, r)$$

Ce résultat doit être interprêté dans toute sa portée.

Parmi ces n biens, isolons les n_l biens ou services de transports : chacun d'eux est défini par un ensemble de caractères (origine, destination, période, mode, confort, fréquence, durée, sécurité, standing, etc...). La demande d'un service de transport ainsi défini apparaît comme fonction :

— du prix généralisé de ce service,

— des prix généralisés des autres services de transports concurrents,

— des prix (généralisés) des autres biens offerts à la consommation,

— du revenu.

Inversement, la demande des autres biens dépend du prix généralisé des services de transports.

En conclusion, **la demande de transport dépend des autres consommations,** et notamment du type et de l'implantation des habitations, des centres d'achats, du choix des loisirs (théatre ou télévision), de l'usage d'autres équipements collectifs (l'existence d'une garderie d'enfants rend la femme plus mobile...), etc... Inversement la demande de logement dépend étroitement du prix et de la qualité des services de transports.

Dans une perspective à long terme, l'évolution des revenus doit également être prise en considération, car elle peut modifier sensiblement les demandes individuelles.

Dans la suite de l'exposé on traitera souvent une demande de transports « toutes choses égales d'ailleurs » c'est-à-dire en considérant comme invariables les répercussions qu'ont les autres consommations sur cette demande ; elle s'exprime sous la forme :

$$q_i = f_i \quad (\mu_1, \ldots, \mu_{nl}) \qquad i \ \Sigma \ (1, \ldots n_l)$$

Cette présentation plus simple, à revenu et mode de vie donnés, n'est acceptable que pour certains types de problèmes : ceux dans lesquels on recherchera la meilleure gestion technique du secteur des transports en considérant comme des données l'évolution des ressources, la programmation des autres équipements collectifs et des logements, etc... Hors de ces hypothèses restrictives, une conception plus large et plus complexe doit être adoptée, capable de tenir compte des interdépendances évoquées et de concourir à la cohérence de l'ensemble des aménagements urbains.

II. — LA FORMULATION MATHEMATIQUE DES LOIS DE LA DEMANDE : LES MODELES DISPONIBLES.

Les lois de la demande sont déjà partiellement mises en formules dans les modèles de trafic que l'on utilise dans les études de transport. On examinera ici comment ces modèles prennent en compte le coût, le prix généralisé ou plus généralement les conditions de transport (1) pour décrire le comportement de l'usager.

Notons tout d'abord que les modèles actuels ont été avant tout conçus pour élaborer des prévisions de trafic à long terme. Dans ces études, l'analyse classique des déplacements est conduite en plusieurs étapes :

— **la génération,** calcul du nombre de déplacements effectués par ménage ou par personne. Le calcul peut être effectué par motif ou globalement pour l'ensemble des motifs :

— **la distribution,** qui consiste à calculer le nombre de déplacements sur chaque liaison de zone à zone, c'est-à-dire pour chaque couple origine-destination ;

— **la répartition entre modes** de transport ;

— **l'affectation** entre itinéraires (par exemple le calcul de la répartition du trafic routier entre les différents itinéraires reliant deux zones);

— **la répartition horaire.** L'intensité du trafic variant en fonction de l'heure, les trafics calculés sur l'ensemble de la journée doivent être répartis dans le temps ; il arrive aussi que l'on détermine directement les trafics en heure de pointe.

Ce découpage en phases résulte évidemment d'une simplification, nécessaire à la formulation mathématique du processus réel de comportement de l'usager, plus complexe, car tous ces choix élémentaires sont interdépendants.

Dans chacune de ces phases, on peut faire entrer en jeu les **caractéristiques socio-économiques des usagers,** et les divers paramètres caractérisant les **conditions de transports,** dont la tarification fait partie : coût monétaire, durée, régularité, temps terminaux, nombre et temps des correspondances, entrent en jeu. On a pu en particulier mettre en évidence, par l'analyse de certaines phases, des équivalences linéaires entre ces facteurs, c'est-à-dire en particulier, établir une « valeur du temps ». Toutefois, cette équivalence n'est que globale, et il paraît très osé, et sans grand fondement, de supposer qu'elle subsiste de la même façon pour toutes les phases que nous avons distinguées.

Les différentes phases vont être successivement abordées dans les paragraphes qui suivent. C'est sur la répartition entre modes de transports que l'on s'étendra le plus, car il semble que l'influence d'une modification de la tarification y soit plus importante ou en tout cas plus accessible. De ce fait, malgré leurs imperfections, les modèles de choix entre modes de transports actuellement disponibles peuvent permettre de tester les conséquences de divers systèmes de tarification.

(1) Il y a interaction entre le coût et les autres éléments du transport : un changement de tarifs modifie les trafics et par conséquent les autres conditions de transport, telles que les temps de parcours et le degré de confort, qui dépendent eux-mêmes des trafics.

1) **La génération.**

Dans la plupart des études effectuées en France, on utilise des ratios donnant globalement le nombre moyen de déplacements par ménage (généralement marche à pied exclue) dont on sait qu'il ira croissant dans l'avenir si l'on s'en réfère au niveau actuel des Etats-Unis.

Quelques études plus fines ont cependant été effectuées dans la Région parisienne en vue de quantifier l'influence des conditions de transport sur la génération.

Pour les déplacements domicile-travail, on a pu mettre en évidence que le nombre d'actifs par ménage (ou taux d'activité), et corrélativement le nombre de déplacements liés à ce motif (marche à pied incluse), sont d'autant plus élevés que les emplois sont nombreux dans la zone ou à proximité, c'est-à-dire plus proche du domicile (1). En d'autres termes, l'accessibilité (c'est-à-dire l'ensemble des facteurs qui conditionnent la rapidité et la commodité d'accès) aux emplois a une influence : plus elle est grande, plus nombreux sont les déplacements (2).

En ce qui concerne l'ensemble des déplacements pour tous motifs, on a aussi pu noter que le nombre moyen de déplacements par ménage varie en fonction de l'accessibilité. L'étude du phénomène est cependant très complexe : en particulier, dans les zones où les activités (emplois, commerces, etc...) sont très accessibles, bien que le nombre total des déplacements croisse, nombreux sont ceux qui sont effectués à pied ; de telle sorte que les déplacements faisant appel aux moyens de transport, qui sont ceux que recherchent les modèles de génération, ont tendance à se raréfier.

Dans un cas comme dans l'autre, l'influence propre du coût monétaire n'a pu être mise en évidence, parce que difficile à isoler, ne fût-ce que parce que le logement est moins coûteux dans les résidences lointaines, pour lesquelles les frais de transport sont élevés ; or, c'est l'ensemble de ces deux facteurs qui détermine les décisions de localisation des intéressés.

Ainsi, il paraît certain qu'une augmentation (ou une diminution) du coût monétaire ou du coût généralisé de transport a une influence sur le nombre de déplacements effectués, même s'il sagit des déplacements domicile-travail : par exemple si, toutes choses égales par ailleurs, le coût du déplacement en voiture particulière subit une augmentation, il n'y a pas seulement un report du trafic vers d'autres modes de transport, mais aussi une diminution du nombre total de déplacements. Les modèles actuels ne permettent cependant pas de quantifier correctement l'influence des coûts de transport sur la génération.

---

(1) L'I.A.U.R.P. a pu établir la relation suivante **(ref. 9)** :

$$TA = 0{,}433 + 0{,}160 \frac{E}{P} - 0{,}003\ D$$ pour une zone donnée, dans la région de Paris en 1962.

TA = Taux d'activité E = nombre d'emplois P = Population D = Densité
Cette formule expliquait 81 % de la variance du taux d'activité.
Voir « Cahiers de l'I.A.U.R.P. », vol. 4/5 - Fascicule 3 - Modèle d'urbanisation.

(2) Plus généralement, les coûts de transport ont une forte influence sur la localisation des ménages et des activités. La crise récente de mévente des logements dans la Région Parisienne a illustré l'influence déterminante des facteurs d'accessibilité : seuls Parisintra-muros, la banlieue proche desservie par le métropolitain, et, parmi les communes plus lointaines, celles bien desservies par des lignes ferrées fréquentes ou des autoroutes non saturées, n'ont pas été touchés par la crise.

2) LA DISTRIBUTION

Les modèles de distribution n'ont été sérieusement étudiés que pour les déplacements domicile-travail. Ils expriment alors globalement le choix, par les habitants, de leurs lieux de domicile et de travail en fonction l'un de l'autre.

Les modèles classiques de distribution, qu'ils soient de forme « gravitaire » ou « d'opportunité » (1), prennent en compte les conditions de transport. Ces conditions ont évidemment une influence sur le choix, par les usagers, de la destination de leurs déplacements. Elles peuvent intervenir sous la forme de la distance ou du temps de transport séparant deux zones, ou mieux du **coût généralisé** de transport.

Malheureusement, l'expression de ce coût de transport généralisé n'a jamais été tirée de l'étude directe de la distribution, mais de travaux sur la répartition entre modes de transport. Il paraît donc hasardeux d'essayer d'en déduire directement une mesure de l'élasticité de la distribution par rapport au coût monétaire.

De plus, ces modèles ne paraissent pouvoir simuler que les **effets à long terme** d'un changement de tarification. Ce sont en effet des modèles, d'équilibre, rendant compte globalement du choix des lieux de résidence et d'emploi des habitants. On sait qu'en cette matière le comportement des individus est très rigide.

Ces réserves étant faites, on peut toutefois examiner la sensibilité de la distribution au coût monétaire, à condition de donner à la valeur du temps un assez large éventail.

3) LA RÉPARTITION ENTRE MODES DE TRANSPORT.

En France, les études sur la répartition entre modes ayant abouti à ce jour à des résultats opérationnels ont été surtout effectuées dans la région parisienne, essentiellement par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région parisienne (I.A.U.R.P.). De nombreuses études ont été néanmoins effectuées en France et à l'étranger, dont les plus importantes sont citées dans la bibliographie (**réf. 9 à 22**).

Le Modèle de l'I.A.U.R.P. repose sur la notion de **coût généralisé** où l'on cherche à ramener à l'unité monétaire, dans laquelle s'expriment déjà les dépenses proprement dites, le temps passé (« valeur du temps ») et le degré de confort dans chaque mode de transport. Il peut donc être utilisé pour étudier l'influence des tarifs sur le trafic des infrastructures.

Notons cependant que **l'influence propre des caractéristiques des usagers** est aussi très importante comme le montrent diverses études françaises et étrangères.

Tout d'abord le taux de motorisation : les usagers ne disposant pas d'automobile ont évidemment un choix beaucoup plus limité. Dans les villes de province, les usagers dits pour cette raison « captifs » des transports en commun constituent une part importante de leur clientèle : 80 à 90 % environ.

(1) La formulation mathématique de ces modèles est précisée en annexe I.

A l'encontre des modèles de l'I.A.U.R.P., des études effectuées notamment à Marseille et Toulouse semblent aussi indiquer que les coûts et les temps de transport y sont peu déterminants dans le comportement des usagers. Celui-ci serait mieux expliqué par les caractéristiques des usagers, telles que sexe, âge, etc... ou par des motivations particulières : utilisation de la voiture à cause d'obligations professionnelles, transport de passagers, caractère pénible de la circulation dans certains quartiers et à certaines heures.

Il convient de remarquer cependant la profonde différence existant entre les villes de province et la Région parisienne du point de vue de l'offre de transports en commun. Ces derniers doivent être considérés comme beaucoup plus concurrentiels dans la capitale, ou une grande part d'entre eux est en site propre (S.N.C.F., métro) et où les distances sont beaucoup plus grandes. On connaît aussi le rôle important des deux roues dans les petites et moyennes agglomérations.

L'étude du choix du mode paraît donc particulièrement délicate dans les villes de province.

MODELE DE L'I.A.U.R.P. POUR LE CHOIX DU MODE DANS LA REGION PARISIENNE.

Dans le modèle d'équilibre des choix entre modes de transport proposé par l'I.A.U.R.P. **(réf. 16),** on caractérise les modes de transport par les paramètres suivants, qui sont autant de critères de choix :

— le temps de transport total

— le coût monétaire

— les temps de marche à pied terminaux

— les temps d'attente et la régularité

— les temps de correspondance.

On a montré que l'influence de ces différents critères pouvait être mesurée avec une seule unité, par exemple le coût (1), c'est-à-dire que leur influence combinée était représentée par un **coût généralisé** (on pourrait aussi utiliser le « temps généralisé »), fonction linéaire de la valeur des divers critères élémentaires, les coefficients de la fonction linéaire mesurant l'équivalence entre chaque critère et le coût.

La répartition entre les deux modes de transport est alors fonction de la **différence des coûts généralisés des deux modes de transport.**

Pour la région de PARIS, ont été ainsi déterminées :

— une courbe de répartition pour le choix entre autobus et métropolitain, pour les usagers utilisant les lignes S.N.C.F. de banlieue dans leur migrations alternantes ;
— une courbe de répartition pour le choix entre voiture particulière et transports en commun, pour les usagers pouvant utiliser une automobile dans les migrations alternantes (voir annexe II) ;
— des courbes de répartition pour les déplacements « achats ».

(1) L'équivalence entre coût et temps dans le choix du mode de transport a aussi été analysée dans diverses études de BEESLEY, MOSES, COUSQUER, GUARMBY, etc.

Ces courbes permettent, en principe, d'étudier l'influence à terme (une fois l'équilibre rétabli), d'une variation de tarifs, qui se traduit par une variation du coût généralisé.

A titre indicatif, on rappellera ici les principales équivalences obtenues pour la Région Parisienne pour les déplacements domicile-travail :

— marche à pied : son influence réelle, mesurée en temps, est obtenue en multipliant le temps de marche par le cœfficient 1,75 (c'est-à-dire qu'une minute de marche est ressentie par l'usager comme 1 minute 3/4 passée dans un véhicule de transport) ;

— temps de correspondance du métropolitain : cœfficient 2 ;

— temps d'attente théorique de l'autobus : cœfficient 3 ;

— valeur du temps (décomptée en appliquant les cœfficients ci-dessus) : elle a été trouvée égale à 5,10 F de l'heure en 1962, pour les usagers ayant la possibilité d'utiliser une voiture particulière.

En définitive, ce modèle doit être utilisé avec grande prudence pour tester l'influence de la tarification (1). Il n'a pas été conçu à cette fin. Son élaboration repose sur la comparaison, à un même instant, de relations où les coûts sont différents, mais les paramètres expliquant les différences de comportement constatées sont si nombreux que le résultat ne peut être qu'imparfait. Il ne tient pas compte du processus complexe des chaînes de déplacement.

De plus, il faudrait l'utiliser avec un modèle de génération rendant compte de l'influence des conditions de transport. Sinon il ne pourra permettre de calculer, à la suite d'un changement de tarification, qu'un transfert entre modes de transport, à demande « tous modes » constante.

Ce modèle constitue néanmoins à l'heure actuelle un des outils existants les plus opérationnels pour les études de transport de la Région Parisienne, notamment sous la forme du modèle « Hermès » qui en est une application.

MODÈLE HERMÈS

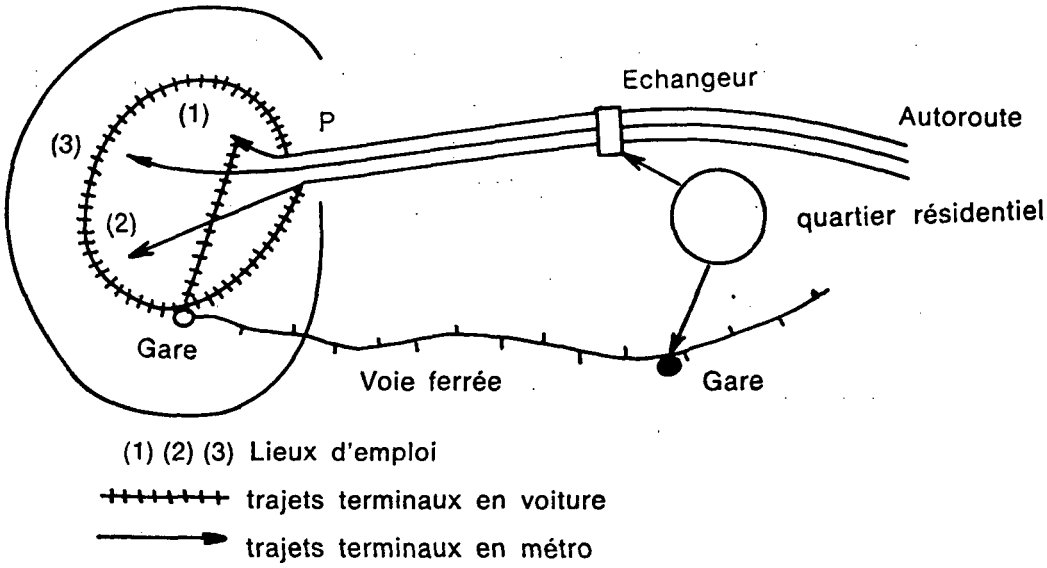
Le modèle de l'I.A.U.R.P. ne permet pas d'obtenir directement la nouvelle répartition des trafics qui résulte d'un changement des tarifs : en effet, sauf en cas de modification minime, la répartition entre modes de transport influe elle-même sur les coûts généralisés de transport. En particulier, la durée d'un parcours sur une route ou une autoroute est fonction du flot de trafic sur cette voie ; il est donc nécessaire de déterminer quel équilibre peut s'établir compte tenu de cette réaction.

Dans cette optique, le Centre de Gestion Scientifique de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris a mené, à l'instigation de l'I.A.U.R.P. et avec sa collaboration, une « étude du trafic d'équilibre entre une autoroute et des voies ferrées de banlieue pour les migrations alternantes » qui a abouti à la programmation d'un modèle de calcul sur ordinateur.

(1) Ainsi, pour calculer l'effet des modifications de tarif sur son réseau, la R.A.T.P. utilise un modèle qui exprime simplement que l'élasticité moyenne du trafic par rapport aux tarifs, telle qu'elle a été mesurée au cours des dernières années, reste constante (voir Section III, § 1, de ce chapitre).

Dans cette étude, de façon à pouvoir mieux analyser la façon dont cet équilibre s'établissait, les auteurs ont volontairement simplifié la configuration géométrique du problème : ils ont uniquement considéré les migrations alternantes entre un secteur de banlieue résidentiel et un centre d'emplois urbain étendu.

SCHÉMA DES INFRASTRUCTURES AUXQUELLES S'APPLIQUE LE MODÈLE HERMÈS



Compte tenu d'un ensemble de données portant sur l'utilisation du sol, les infrastructures et leur fonctionnement (courbes vitesse-débit sur autoroute, tarification, etc.), le modèle calcule, de façon dynamique, le trafic de chaque mode à l'état d'équilibre.

La capacité des tronçons autoroutiers intervient sous forme d'un niveau de saturation au-delà duquel le débit est écrêté, un nombre suffisant d'usagers avançant leur départ le matin ou le retardant le soir pour respecter la contrainte de capacité.

Le modèle HERMÈS pourrait être utilisé pour calculer, à titre théorique, les tarifs et les trafics « optimaux » en appliquant, par exemple, le principe de tarification au coût marginal sur une autoroute et une ligne de chemin de fer concurrentes de la Région Parisienne, pour satisfaire une demande globale donnée.

4) L'AFFECTATION

Les modèles d'affectation sur le réseau de voirie urbaine simulent le choix des usagers entre les différents itinéraires.

Ceux actuellement utilisés se basent sur le principe selon lequel les trafics s'équilibrent de façon telle que, pour les usagers, les coûts généralisés, calculés par les relations coût-débit, sont égaux sur les itinéraires concurrents ; ce principe simple conduit, en général, à une bonne reconstitution des trafics (1).

Mais il faut signaler que les modèles existants ne tiennent pas ou tiennent mal compte des vitesses lorsque les voies sont sursaturées, ni de certains effets de pointe (influence de la répartition des horaires de début ou fin de travail, influence de la congestion du réseau sur l'étalement de ces horaires).

Ces modèles permettent cependant de se faire une idée de l'effet des modifications de coût sur le choix entre itinéraires.

5) LA RÉPARTITION HORAIRE

Une tarification différentielle selon l'heure du déplacement pourrait avoir une influence sur l'intensité des pointes de trafic. Malheureusement, dans ce domaine, aussi bien les mesures concrètes que les modèles théoriques font défaut. On peut seulement noter l'expérience partielle réalisée par la S.N.C.F. sur la ligne de PARIS-MELUN (voir section III, § 3).

En ce qui concerne les horaires de début et de fin de travail, il faut aussi remarquer que la décision, dans de nombreux cas, n'appartient pas à l'usager, mais à la direction de l'entreprise dans laquelle il travaille.

Dans les études on se contente jusqu'à présent d'appliquer par mode de transport, des cœfficients de pointe constants, obtenus par extrapolation des cœfficients actuels.

Conclusion

La plupart des modèles utilisés dans les études de transport, outre qu'ils ne concernent guère que les migrations domicile-travail, ne tiennent pas ou tiennent mal compte de la tarification des différents modes de transport, même si en théorie elle peut être introduite sous forme de coût ou de temps généralisé.

Cela semble dû au fait qu'il s'agit en général de modèles d'équilibre, que l'influence de la tarification a sans doute semblé aux auteurs secondaire par rapport à celle du temps et des conditions de transport, enfin qu'ils ont été conçus avant tout pour faire des prévisions de trafic à long terme, non pour tester des mesures d'exploitation à court terme. De plus, l'extrapolation de l'influence des tarifs à l'extérieur de l'éventail pour lequel les modèles ont été ajustés paraît hasardeuse.

Il demeure que, dans la pratique, l'influence d'une modification de la tarification semble devoir jouer un rôle prépondérant sur la répartition entre modes de transport. Il est au contraire bien difficile d'apprécier ce que sera l'influence d'une telle modification sur la génération des déplacements, sur le choix des destination (en particulier du domicile et du lieu de travail) et sur les horaires. Les effets seront sans doute très variables selon la taille des agglomérations.

---

(1) Sauf, bien entendu, dans le cas où, quel que soit le trafic, un itinéraire est toujours plus court ou moins coûteux que l'autre. On affecte alors par « tout ou rien », c'est-à-dire l'ensemble du trafic sur l'itinéraire le moins coûteux.

III. — QUELQUES MESURES EXPÉRIMENTALES DES EFFETS D'UNE MODIFICATION DES TARIFS.

L'impact sur le trafic des modifications de tarifs des transports publics n'a été réellement étudié qu'en Région Parisienne, c'est pourquoi les résultats expérimentaux donnés dans cette section ne concernent qu'elle ; encore sont ils trop globaux pour que l'on puisse en tirer des résultats applicables à de nombreux cas. On évoquera également l'expérience du stationnement payant à Londres.

La sensibilité des usagers aux tarifs n'est évidemment pas la même pour les différentes catégories de déplacements urbains. Ainsi on peut considérer que les déplacements entre domicile et travail ont un caractère quasi obligé, ce que vérifie bien le fait que l'on observe pour les cartes hebdomadaires ou d'abonnement des élasticités plus faibles que celles des billets ou tickets qui correspondent en principe aux autres catégories de déplacements (1).

Une autre difficulté est que les diminutions de trafic provoquées par les hausses du tarif semblent présenter, dans la Région Parisienne,un caractère momentané : certains usagers n'abandonneraient que provisoirement leur moyen de transport habituel. Les indications données dans ce paragraphe à partir des observations consécutives à des augmentations des tarifs concernent donc ce que l'on peut appeler l'**élasticité à court terme** (quelques mois).

L'élasticité dont il s'agira ici, parfois appelée élasticité logarithmique, est le rapport du pourcentage de variation du trafic au pourcentage de variation du prix.

1) LA SENSIBILITÉ DES USAGERS DE LA R.A.T.P.

A partir des hausses de tarif effectuées entre 1952 et 1958, la R.A.T.P. a calculé des élasticités à court terme qui se sont révélées à peu près constantes et sont approximativement égales à :

0,2 pour les tickets d'autobus

0,12 pour les tickets de métro

0,04 pour les cartes hebdomadaires.

Ces chiffres traduisent une évolution complexe du trafic : suppression de certains déplacements, transfert d'un mode de transport public à un mode de transport privé (voiture personnelle ou marche à pied) ou même transfert du réseau de voirie au réseau ferré de la R.A.T.P., les structures tarifaires étant différentes.

Ces valeurs ne sont évidemment que des moyennes : l'élasticité dépend en fait du niveau absolu des tarifs, de la distance parcourue, etc. D'autre part, de telles analyses ne peuvent être explicatives que si des enquêtes permettent de déterminer les transferts des usagers d'un mode à un autre et les suppressions de déplacement.

(1) Cette présentation est bien entendu simplificatrice ; certains déplacements autres que ceux « domicile-travail » sont suffisamment réguliers pour que les intéressés aient avantage à utiliser un abonnement ou une carte hebdomadaire.

Les variations de trafic provoquées par la hausse du 15 juillet 1967 n'ont pas encore été analysées : un certain recul est nécessaire (du fait notamment des fluctuations saisonnières) pour interpréter les évolutions, d'autant plus que les structures tarifaires ont été profondément modifiées sur le réseau routier.

2) LA SENSIBILITÉ DES USAGERS DES TRAINS DE BANLIEUE DE LA S.N.C.F.

(Voir Annexe III)

a) LES BILLETS.

Les tarifs ont été modifiés à plusieurs reprises depuis 1963. Mais pour la zone u (ou v depuis le 15 juillet 1967), ce qui correspond approximativement à la desserte de l'agglomération existante, seule la dernière hausse a été appliquée. Elle a conservé constant le rapport entre les prix du billet et de l'abonnement hebdomadaire. D'autre part, il est peu vraisemblable qu'il y ait eu transfert d'usagers entre la S.N.C.F. et la R.A.T.P., la hausse ayant été identique sur les deux réseaux et la coordination technique évitant qu'ils se concurrencent. On peut donc espérer déduire de l'évolution du trafic billets entre les mois comparables des années 1966 et 1967 une indication sur la valeur de l'élasticité. Elle est approximativement de 0,3. En effet, pour des hausses de tarif de l'ordre de 40 %, les diminutions de trafic ont été en moyenne de 14 % (de 11 à 23 % suivant les gares et la distance).

Ce chiffre, pour de nombreuses raisons, ne doit être considéré que comme un ordre de grandeur. Il n'est pas non plus évident que l'élasticité ait la même valeur pour les usagers habitant dans les zones de raccord ou périphériques : les caractéristiques socio-professionnelles et le taux de motorisation des voyageurs, par exemple, n'y sont pas les mêmes.

b) LES ABONNEMENTS.

Sur les trains de banlieue de la S.N.C.F. les deux tiers des voyages sont effectués par des abonnés.

La plupart d'entre eux effectuent des déplacements domicile-travail et, pour ceux-ci, une fuite de trafic après une hausse tarifaire est peu probable ; elle peut cependant se produire soit par un plus large emploi des voitures particulières, s'accompagnant éventuellement d'une augmentation de leur taux d'occupation en les utilisant en commun (1), soit par la suppression du déplacement de la mi-journée pour les usagers ne travaillant pas en journée continue.

Quant aux usagers, moins nombreux, qui se déplacent pour d'autre motif que le travail en utilisant les abonnements hebdomadaires, un changement des tarifs peut modifier sensiblement leur comportement.

En fait, l'interprétation des variations de trafic après la dernière hausse est pratiquement impossible. Il semble, tout au plus, que l'élasticité du trafic pour les usagers utilisant des abonnements est inférieur à 0,15 et probablement de beaucoup.

(1) C'est la formule désignée sous le nom de « car pool » par les anglo-saxons.

3) LA SENSIBILITÉ DE REPORT DANS LE TEMPS (EXPÉRIENCE S.N.C.F. GRANDE BANLIEUE)

La S.N.C.F. a tenté une expérience ayant pour but de déterminer si l'élasticité de la demande permet le report d'une partie du trafic des heures de pointe sur les heures « creuses » moyennant l'octroi d'une réduction sur le prix de transport. L'expérience a duré du 22 mai 1966 au 31 juillet 1967 sur les relations PARIS-MELUN et PARIS-CHANTILLY-CREIL. Les réductions étaient de l'ordre de 20 %.

Dans une période où le trafic total était en légère régression, le trafic des heures creuses a augmenté ; la proportion des voyageurs empruntant les trains circulant aux heures creuses est passé de 19,8 % à 23, 5 % sur PARIS-MELUN et de 21 % à 27 1/4 sur PARIS-CREIL.

Les résultats fournis par la S.N.C.F. montrent cependant quelques anomalies. En particulier de nombreux billets plein tarif ont été vendus en heure creuse, ce qui semble prouver que beaucoup d'usagers n'étaient pas informés de l'expérience. L'interprétation des résultats repose sur des hypothèses audacieuses qu'une enquête, relativement peu coûteuse, aurait permis de confirmer ou d'infirmer.

Des hypothèses simplificatrices complémentaires permettent cependant d'interpréter les résultats (voir annexe IV) et d'en tirer les chiffres approximatifs suivants :

Sensibilité de report dans le temps sur les relations de grande banlieue de la S.N.C.F., en 1966-1967

Liaisons S.N.C.F.	Pourcentage p des usagers d'heure de pointe ayant modifié leur horaire	Pourcentage c des usagers informés des modifications tarifaires	Elasticité de report $e_r = \frac{p/c}{\text{variation relative des tarifs}}$
MELUN - PARIS	10 %	50 %	0,6
PARIS - CHATILLON	29 %	32 %	1,5
PARIS - CREIL	20 %	32 %	1

Le bilan de l'expérience ne pourrait être fait qu'en tenant compte des économies sur les frais d'exploitation et d'investissement que permettent les transferts de trafic des heures de pointe aux heures creuses.

4) L'EXPÉRIENCE DU STATIONNEMENT PAYANT A LONDRES

Le stationnement payant par parcmètres s'étend progressivement à Londres depuis 1958 ; fin 1966, on en comptait 17.000 (1).

Jusqu'en 1965, les tarifs étaient d'environ 0,18 F à 0,35 F/heure. Depuis cette date, 3 zones différenciées ont été créées où les tarifs horaires sont respectivement de 1,40 F, 0,70 F et 0,35 F.

Le stationnement est limité à 2 heures au maximum.

L'effet, à court terme, de la tarification **sur la fréquentation** a pu être mesuré grâce à cette augmentation des prix : Pour une majoration de 0,35 F/heure, le taux d'occupation des places a diminué en moyenne de 11 % ; cette diminution provient surtout d'une réduction de la durée des stationnements.

Il serait donc difficile d'en tirer une élasticité du trafic automobile par rapport aux tarifs de stationnement.

L'effet sur les vitesses qu'a eu la tarification du stationnement est complexe : le temps perdu à la recherche d'une place de stationnement est fortement réduit. La mesure tend aussi à favoriser les déplacements d'heure creuse par rapport aux déplacements en heure de pointe.

Ainsi la création successive des différentes zones de parcmètres a conduit à une augmentation des vitesses moyennes de 11 à 20 % dans ces zones.

Dans le centre de Londres, où la tarification du stationnement a été également accompagnée par des mesures d'organisation de la circulation (sens uniques, coordination de feux, aménagement de carrefours), les vitesses moyennes qui avaient diminué progressivement de 1952 à 1958, connaissent depuis lors une lente augmentation.

Effet du stationnement payant sur les vitesses, à Londres

ANNEE	1952	1958	1962 extrapolée (1)	1962 observée
Vitesse moyenne aux heures de pointe (km/h)	17,5	13,3	10,5	15,3
Vitesse moyenne aux heures creuses (km/h)	17,8	16,1	14,7	16,5

(1) Valeur extrapolée d'après la tendance de la période 1952-1958 antérieure à l'extension des parcmètres.

(1) Les renseignements qui suivent sont extraits d'une étude effectuée par l'Omnium Technique d'Etudes Urbaines (O.T.U.) pour la Préfecture de la Région Parisienne **(réf. 23).**

Pendant ces 10 années pourtant, le volume de circulation des voitures particulières augmentait en moyenne de 95 % en heures de pointe et de 58 % en heures creuses.

Conclusion

L'expérience montre que le comportement des usagers peut être modifié par des mesures tarifaires, qu'elles portent sur les transports publics ou sur le stationnement des voitures particulières.

Cependant, on constate que, pour les usagers des transports publics, l'élasticité est peu élevée dans la situation actuelle (ou les tarifs sont relativement faibles, en tout cas à Paris) : 0,2 à 0,3 au maximum pour les non-abonnés, moins pour les abonnés. Les expériences de nuancement tarifaire ont d'autre part montré qu'il existait une élasticité de report dans le temps.

Malheureusement, nous connaissons peu les transferts provoqués par les variations de tarif. Pour établir des bilans pour la collectivité qui soient valables, une amélioration de notre connaissance des réactions des usagers par des enquêtes et des études statistiques plus détaillées permettrait de vérifier le bien-fondé des modèles comme celui de l'I.A.U.R.P. sur les choix entre modes de transport.

Une modification radicale de la structure tarifaire de l'ensemble des modes de transport aurait des effets vraisemblablement très importants, mais qu'il est très difficile de chiffrer à la lumière des expériences récentes, car celles-ci n'ont revêtu souvent qu'un caractère marginal.

CHAPITRE III

Les Coûts des Transports Urbains

Par coût d'un déplacement on entend toutes les dépenses monétaires et tous les inconvénients ou gênes assimilables à une dépense qui en sont la conséquence.

La connaissance des coûts est essentielle : si l'usager ne règle pas son comportement en les prenant tous en compte, et pour leur valeur correcte, des pertes économiques importantes peuvent en résulter.

Malheureusement le coût du déplacement d'un usager est en fait fort difficile à cerner : il dépend de nombreux paramètres dont on connaît mal l'influence et certains de ses éléments sont même impossibles à calculer dans l'état actuel des connaissances.

Dans ce chapitre on a tenté d'identifier et d'évaluer les coûts des transports urbains, autant que cela était possible. Pour ce faire on a, en règle générale, rassemblé, rendu cohérents et exploité la documentation et les travaux existants. Cependant, pour atteindre les coûts liés aux infrastructures, on a dû procéder à une enquête spéciale portant sur les cinq villes de l'échantillon déjà retenu pour l'analyse des trafics. De toute façon, le but de cette étude étant d'éclairer un problème, et non de conduire immédiatement à une intervention opérationnelle, les données recueillies ont été utilisées telles quelles, sans les soumettre à un examen critique. Par contre on s'est attaché à exposer, pour chaque catégorie de coût, les problèmes de principe que pose sa détermination.

Les coûts qui seront donnés sont en principe évalués taxe à la valeur ajoutée (T.V.A.) incluse. Il conviendrait certes, dans une étude fine, d'expliciter pour chacun d'eux la part relative à la T.V.A., notamment parce que la multiplicité des taux de celle-ci est susceptible de provoquer des distorsions. De même on a considéré que la taxe actuelle sur l'essence comprend en réalité deux parties : l'une correspondant normalement à la taxe de droit commun qu'est la T.V.A., l'autre constituant une surtaxe spécifique qui joue un rôle économique propre. Cependant la distinction de la T.V.A. dans l'évaluation des différents coûts ne paraît pas essentielle dans l'esprit de cette étude pour laquelle des valeurs approchées suffisent à dégager les conclusions.

Il est utile d'indiquer préalablement dans quelle classification ont été insérés les coûts de diverse nature et de préciser certaines notions parmi lesquelles celles de coût moyen et de coût marginal, qui sont importantes pour la recherche d'une bonne tarification et dont on a pu donner l'un et l'autre pour certaines catégories de coût.

I. — DEFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS. — COUT MOYEN ET COUT MARGINAL

On a coutume de classer les différents coûts des transports dans les catégories suivantes :

— les coûts d'**investissement des infrastructures,**

— les coûts d'**utilisation des infrastructures** (entretien, exploitation, police, etc.),

— les coûts d'**investissement et de fonctionnement des véhicules,**

— la valeur attachée au **temps passé** par les usagers, auquel on rattache des éléments psychologiques tels que l'**inconfort** ou la qualité de service, qui constituent ainsi un des éléments du « **coût généralisé** »,

— le coût des **accidents** (qui peuvent impliquer un ou plusieurs véhicules).

On appelle **coûts sociaux internes** ceux qui résultent de la gêne que se causent mutuellement les usagers d'une même infrastructure. Pour une part les coûts des trois catégories précédentes ont ce caractère : par exemple, l'intensité du trafic automobile accroît la consommation d'essence, les temps de parcours et les accidents ; l'encombrement du métro aux heures de pointe diminue le confort.

— le coût de **congestion** est l'appellation donnée (à raison des circonstances où ils sont les plus intenses) à l'ensemble de coûts sociaux internes que constituent les pertes de temps et les coûts de fonctionnement supplémentaires, par ralentissement et arrêts, que provoque la présence concomitante d'une multiplicité d'usagers sur une même infrastructure, ainsi que l'inconfort qu'elle peut entraîner.

On appelle **coût sociaux externes** ceux que les usagers d'une infrastructure causent aux non usagers, généralement sous forme de nuisances : ils sont dus en particulier :

— au **bruit,**

— à la **pollution atmosphérique.**

Il existe des coûts sociaux d'autre nature, comme par exemple les pertes économiques que peut entraîner, pour son entreprise, le retard d'un usager par rapport à son horaire normal de travail, la gêne causée aux piétons, les préjudices esthétiques (1), les nuisances causées à l'environnement (coupure du tissu urbain) bien connues des urbanistes, etc., mais l'évaluation de certains de ces coûts relèverait souvent d'une appréciation essentiellement subjective.

On peut se demander aussi s'il n'y a pas un « coût de régression des transports publics », dû au fait que le transfert d'usagers de ces transports vers l'automobile diminue leur trafic, ce qui — les règles de gestion généralement appliquées conduisant alors à ralentir les cadences — entraîne une dégradation du niveau de service.

Les divers coûts mentionnés dans la classification ci-dessus sont supportés par des personnes morales ou physiques différentes :

— les collectivités publiques (investissement et utilisation des infrastructures, s'il ne s'agit pas d'un réseau ou d'un ouvrage concédé) ;

— les entreprises de transport de voyageurs ou de marchandises (2) (investissement et fonctionnement de leurs véhicules ; éventuellement dépenses d'infrastructure pour les réseaux dont elles ont la concession) ;

— les usagers du transport (investissement et fonctionnement du véhicule en cas de transport privé, temps passé, coûts sociaux internes) ;

— les non-usagers (coûts sociaux externes).

On notera que dans le cas des transports en commun (ou des transports publics de marchandises), l'entreprise de transport supporte des dépenses pour lesquelles l'usager lui verse le **prix du tarif,** qui ne leur est pas nécessairement égal.

On signalera aussi que certaines personnes(usagers, concessionnaires, transporteurs, etc.) peuvent supporter des dépenses qui ne sont pas des coûts mais des transferts. Tels sont, par exemple, le prix d'acquisition des titres de transport, la taxe sur l'essence, les redevances versées sur les autoroutes, etc.

On distingue classiquement le « **coût pour l'usager** », addition de toutes les dépenses monétaires ou généralisées que celui-ci supporte, et le « **coût pour la collectivité** » qui comprend en plus tous les coûts supportés par d'autres personnes physiques ou morales, mais en moins tous les décaissements qui ont le caractère d'un transfert.

(1) Une infrastructure de transport, ainsi que la circulation de véhicules sur celle-ci, peut nuire à l'environnement sur le plan esthétique. Mais elle peut aussi contribuer à l'embellir, même en milieu urbain, comme c'est le cas de certains ouvrages d'art.

(2) Une collectivité publique peut remplir elle-même cette fonction si elle exploite un réseau en régie directe. Les taxis sont ici assimilés aux entreprises de transport.

COUTS MOYENS ET COUTS MARGINAUX

Lorsqu'un certain nombre de biens identiques sont produits (ou d'opérations identiques effectuées) le coût total de cet ensemble est fonction du nombre d'unités produites. Mais il ne lui est pas nécessairement — ni même généralement — proportionnel. On distingue donc :

— le coût moyen, égal au quotient du coût total par la quantité,

— le coût marginal, qui est celui auquel revient la dernière unité, ou, si l'on préfère, la dérivée du coût total par rapport à la quantité.

Cette distinction suppose que toutes les unités produites sont identiques. Dans le cas contraire, il est parfois possible de les ramener à l'une d'entre elles, par des formules d'équivalence.

Le coût moyen peut être croissant ou décroissant en fonction de la quantité. Dans le premier cas le coût marginal est supérieur au coût moyen, dans le second cas il lui est inférieur.

Ces notions vont être appliquées au cas des transports urbains.

Si l'on met à part les dépenses d'investissement, on peut définir le **coût marginal** du déplacement d'un usager et plus précisément, dans l'optique qui est celle de cette étude, son **coût marginal pour la collectivité,** les dépenses ayant le caractère d'un transfert (taxes notamment) étant exclues. Il est égal aux dépenses supplémentaires pour la collectivité entraînées par le déplacement de cet usager. Lorsqu'on raisonne « à l'infrastructure donnée », c'est-à-dire dans l'hypothèse où l'infrastructure reste inchangée, on dit qu'il s'agit d'un coût marginal à **court terme** (1).

On verra au chapitre IV que, d'après la théorie économique, l'utilisation optimale des infrastructures peut être obtenue en appliquant des tarifs égaux au coût marginal à court terme. Il faudrait donc connaître celui-ci pour chacune des catégories de coût définies ci-dessus.

---

(1) Le coût marginal à **long terme,** tel qu'on l'envisagera dans cette étude, est au contraire défini dans l'hypothèse d'une augmentation de la capacité de l'infrastructure, pour satisfaire un accroissement de la demande. Il est égal à l'ensemble des dépenses supplémentaires, investissements compris (et leur amortissement) nécessitées par l'introduction d'un usager supplémentaire.

Dans la théorie classique, on se place dans l'hypothèse où les investissements peuvent être effectués d'une manière continue, et ce que l'on considère sous le nom de « coût marginal à long terme » est le « coût marginal avec adaptation continue des investissements ». La courbe de ces derniers est l'enveloppe des coûts marginaux à court terme. Si les investissements réalisés sont constamment optimaux, le coût marginal à court terme et le coût marginal à long terme, tels qu'ils ont été définis, sont égaux.

Lorsque les investissements ne peuvent être effectués que de manière discontinue, comme c'est généralement le cas pour les infrastructures de transport, les courbes de coût marginal à court terme ne touchent l'enveloppe qu'en quelques points. La définition d'un coût marginal à long terme, qui exigerait le rétablissement d'une continuité, est alors très délicate. On peut même se demander si cette notion a un sens.

Précisons cette notion dans le cas d'une infrastructure de voirie empruntée par des voitures particulières. Les opérations qui nous intéressent ici sont des parcours déterminés (par exemple sur un certain tronçon d'un kilomètre, sur une certaine voie, à une certaine heure...) effectués par des voitures supposées toutes identiques et semblablement conduites (1).

Désignons par :

- q le trafic de véhicules empruntant une section donnée pendant une période de temps donnée.
- $a(q)$ les dépenses correspondantes liées à l'utilisation de l'infrastructure (exploitation, police, entretien, etc.).
- $f(q)$ la dépense de fonctionnement d'un véhicule, hors taxe, comprenant carburant, entretien, réparations, usure des pneus, etc.
- $t(q)$ la valeur économique du temps passé par les usagers d'un véhicule sur la section, compte tenu des facteurs psychologiques tels que le degré de confort.
- $b(q)$ les pertes pour la collectivité dues aux accidents corporels ou matériels.
- $c(q)$ les coûts sociaux externes causés par la circulation aux non-usagers (cf. supra).

Le coût pour la collectivité de l'utilisation de cette infrastructure par un trafic q est égal à :

$$D = a(q) + [f(q) + t(q)]\, q + b(q) + c(q)$$

Le coût marginal pour la collectivité, correspondant à l'introduction d'un véhicule supplémentaire, peut s'écrire :

$$m = \frac{\delta D}{\delta q} = \frac{\delta a}{\delta q} + (f + t) + q\left(\frac{\delta f}{\delta q} + \frac{\delta t}{\delta q}\right) + \frac{\delta b}{\delta q} + \frac{\delta c}{\delta q}$$

On appelle généralement :

$f + t$ = **coût moyen** supporté directement par chaque usager.

$\frac{\delta a}{\delta q}$ = **coût marginal d'infrastructure**

$q\left(\frac{\delta f}{\delta q} + \frac{\delta t}{\delta q}\right) + \frac{\delta b}{\delta q} + \frac{\delta c}{\delta q}$ = **coût marginal social,** c'est-à-dire valeur de la gêne causée par un usager aux autres usagers et aux non-usagers (2) dont le terme :

(1) On notera donc que les qualificatifs de « moyen » ou de « marginal » s'entendent ici par rapport au nombre de voitures. Il ne s'agit pas, notamment, de la marginalité des dépenses d'un automobiliste par rapport au kilométrage qu'il parcourt. De même le qualificatif de moyen ne vise pas le véhicule moyen par rapport à un ensemble de véhicules différents, ni le parcours considéré par rapport à différents tronçons, heures, conditions d'encombrement, etc.

(2) Le terme $\frac{\partial b}{\partial q}$, coût marginal lié aux accidents pourrait aussi être décomposé en coût moyen et coût marginal social. La question est délicate, car le coût ressenti est lié à une certaine probabilité d'accident, et on peut se demander si l'usager est conscient du risque encouru ; les assurances sont d'autre part destinées à couvrir une partie de ce coût.

$$q \left(\frac{\delta f}{\delta q} + \frac{\delta t}{\delta q} \right)$$ constitue le **coût de congestion**

Le calcul des coûts marginaux suppose donc la connaissance de la **variation des différents coûts en fonction du trafic** ou des caractéristiques de celui-ci.

Dans le cas où plusieurs types de véhicules empruntent la même infrastructure (par exemple : voitures de divers types, autobus, poids lourds...) on peut faire un calcul analogue. Il faut alors connaître des fonctions de coût du type.

φ $(q_1, q_2 ...)$, q_1 q_2... étant les trafics correspondant aux types de véhicules considérés. En fait, on tient généralement compte de la multiplicité des types de véhicules en définissant des **cœfficients d'équivalence** λ.

Par exemple, le temps de parcours t de voitures particulières dont le trafic est q_1, en présence de poids lourds dont le trafic est q_2, s'exprime sous la forme

$$t = \psi (q_1 + \lambda q_2)$$

λ étant le cœfficient d'équivalence des poids lourds en unités de voitures particulières (u.v.p.). Dans la réalité, λ dépend des trafics q_1 et q_2, mais on ne considère en général que des valeurs moyennes de ce cœfficient.

CAS DES VEHICULES DE TRANSPORT EN COMMUN

Les coûts marginaux définis ci-dessus sont des **coûts marginaux par véhicule,** et non des **coûts marginaux par usager.** Leur distinction pose un problème pour les transports en commun, où un usager supplémentaire ne nécessite pas forcément la mise en service d'un véhicule supplémentaire.

D'autre part, on verra (section IV, § 3) que l'étude de la gestion d'une entreprise de transports en commun ne permet pas d'individualiser à un instant déterminé un coût de fonctionnement du véhicule qui ne dépendrait que du trafic q empruntant l'artère à cet instant. Il faut en effet considérer les dépenses de l'entreprise sur l'ensemble de la journée et calculer leur variation lorsqu'on rajoute un autobus à une heure donnée de celle-ci. Le coût moyen f est alors à remplacer par un coût marginal de fonctionnement calculé de cette façon.

Ii. — LES COUTS D'INVESTISSEMENT D'INFRASTRUCTURES.

Les infrastructures de transport sont l'ensemble des **installations fixes** sur lesquelles circulent les véhicules et de celles qui sont indispensables pour que le trafic puisse s'effectuer.

Sans s'attacher ici au problème de la délimitation des infrastructures, car on peut hésiter sur le caractère de certaines installations, on citera comme exemple, dans le domaine étudié : la voirie, les parcs de stationnement, les autoroutes urbaines (et leurs postes de péage, s'il en était), les voies ferrées, les gares, etc.

Dans cette section, on a recherché quelles ont été, pour l'année 1965, les dépenses publiques d'investissements de voirie pour les cinq villes de l'échantillon, à partir des données qui ont pu être recueillies auprès des Services départementaux de l'Equipement et, par leur intermédiaire, auprès des Services départementaux et municipaux, ainsi que du District de la Région de Paris.

On a également recherché quelles ont été, la même année, les dépenses d'investissements sur les réseaux de voies ferrées de la Région Parisienne.

1) INVESTISSEMENTS DE VOIRIE.

Les investissements de voirie ont été décomposés en quatre catégories :

— Les investissements **d'exploitation** sont ceux qui ont pour effet d'améliorer l'écoulement du trafic, sans modifier de façon notable l'infrastructure ; il s'agit par exemple de l'installation de feux tricolores, de la coordination des feux de plusieurs carrefours ou de l'aménagement à niveau d'un carrefour sans modification des emprises.

— Les investissements de **capacité** sont ceux destinés à augmenter la capacité (ou la sécurité), autres que les renouvellements, renforcements et investissements d'exploitation. Ils comprennent les constructions de voies nouvelles lorsqu'elles ne sont pas liées directement à la création de nouvelles zones d'habitation.

— Les investissements de **desserte nouvelle** sont les constructions de voies nouvelles liées directement à la création de nouvelles zones d'habitation, que cette création soit d'origine publique ou privée.

— Les investissements de **stationnement** sont les créations de stationnement ou de garages suffisamment importantes pour être individualisées et qui ne sont pas simplement l'annexe d'une opération de voirie.

Ces diverses dépenses sont prises en charge par l'Etat, les départements et les communes ; les investissements privés faits pour la desserte de certaines zones d'habitation nouvelles n'y ont pas été inclus.

Les chiffres recueillis sont les suivants :

Montant des investissements publics de voirie, en 1965
(crédits de paiement en francs)

	d'Exploitation	de Capacité	de Desserte nouvelle	de Stationnement	Total
PARIS	9.466.000	248.932.000	néant	895.000	259.293.000
Autres com. de la Région Parisienne sauf PARIS	30.823.000	230.410.000	100.285.000	15.030.000	376.548.000
Total Région Parisienne	40.289.000	479.342.000	100.285.000	15.925.000	635.841.000
MARSEILLE	4.964.000	37.512.000	2.904.000	1.930.000	47.310.000
TOULOUSE	1.916.000	2.451.000	6.001.000	1.522.000	11.890.000
CAEN	243.000	3.236.000	1.697.000	0	5.176.000
EVREUX	27.300	206.600	35.100	36.900	305.900

En annexe V figure la ventilation détaillée de ces dépenses selon la localisation des investissements (centre ou périphérie des agglomérations) et selon la collectivité qui les prend en charge (Etat, département ou commune).

Ces chiffres, qui sont ceux de 1965, dernière année du IVe Plan, doivent être utilisés avec circonspection car ils sont très insuffisants par rapport aux besoins réels. On notera par exemple qu'à TOULOUSE, le Ve Plan prévoit en moyenne par an, pour les investissements de desserte nouvelle et de capacité :

— 12,18 millions à la charge de l'Etat (au lieu de 1,32 millions réalisés en 1965),

— 13,54 millions à la charge de la commune (au lieu de 6,31 millions réalisés en 1965).

Le tableau suivant présente, à titre indicatif, l'évolution des crédits attribués au titre du Fonds Spécial d'Investissement Routier (F.S.I.R.) pour financer les routes nationales et autoroutes urbaines dans les agglomérations étudiées.

Evolution des paiements
au titre du Fonds Spécial d'Investissement Routier
(en millions de francs)

	1965	1966	1967
RÉGION PARISIENNE	173	453	243
MARSEILLE	1,32	6,42	8,5
TOULOUSE	0,57	0,89	1,17
CAEN	1,28	1,04	1,02
ÉVREUX	—	1,6	0,96

2) **INVESTISSEMENTS FERRÉS DE LA RÉGION PARISIENNE**

Selon des renseignements fournis par la S.N.C.F. et la R.A.T.P., les dépenses comptabilisées en 1965 ont été les suivantes :

R.A.T.P.

— Exploitation (amélioration des accès, correspondances, stations, élargissement des quais) ..... 28.000.000 F

— Capacité (allongement de quais pour 6 voitures, matériel sur pneu, garages et dépôts) ..... 102.000.000 F

— Desserte nouvelle (Réseau express régional, prolongements de lignes de métro) ..... 174.000.000 F

S.N.C.F. (électrification, équipements divers, installations annexes, bâtiments, gare souterraine de Paris-Austerlitz, etc. ..... 98.000.000 F

Total ..... **402.000.000 F**

Il faut cependant noter que ces dépenses ont connu un fort taux de croissance postérieurement à 1965, pendant les années du Ve Plan.

Le total de 402.000.000 F est à comparer au montant des investissements de voirie de la Région parisienne donné plus haut, qui est de 635.841.000 F.

III. — LES COUTS D'UTILISATION DES INFRASTRUCTURES DE VOIRIE.

Les dépenses d'utilisation des infrastructures ont été décomposées en quatre catégories :

— Les coûts de **fonctionnement**, qui concernent essentiellement le personnel et l'énergie nécessaires au bon écoulement du trafic. Sur la voirie urbaine ils sont relativement peu importants et comprennent surtout :

— le fonctionnement de l'éclairage public
— celui de la signalisation par feux
— le fonctionnement des permanences d'exploitation s'il en existe.

— Les coûts de **police.**

— Les dépenses **d'entretien strict** sont les dépenses annuelles que l'on doit faire pour maintenir les ouvrages en état.

— Les dépenses de **renouvellement,** qui ont également pour but de maintenir les ouvrages en état, mais ont une périodicité supérieure à l'année, telle la peinture périodique des ponts métalliques. Les dépenses de renforcement sont pour les chaussées urbaines difficilement séparables des précédentes ; elles ont pour effet d'augmenter les durées de renouvellement.

Dans les différentes villes de l'échantillon, les dépenses de l'espèce sont récapitulées par le tableau ci-après. Leur ventilation plus détaillée est donnée en annexe V.

Dépenses d'utilisation des infrastructures de voirie, en 1965 (en F)

	Fonctionnement de la circulation	Police	Entretien strict	Renouvellement Renforcement	Total
PARIS	45.190.000	51.000.000	53.191.000		149.381.000
Autres communes de la Région Parisienne	159.433.000	50.000.000 (supputation)	125.877.000	64.352.000	399.662.000
Total Région Parisienne	204.623.000	101.000.000	243.420.000		549.043.000
MARSEILLE	3.603.000	11.504.000	14.702.000	6.730.000	36.539.000
TOULOUSE	3.784.000	3.883.000	9.384.000	8.947.000	25.998.000
CAEN	350.000	2.471.000	1.243.000	907.000	4.971.000
EVREUX	327.300	917.100	395.400	1.158.200	2.798.000

Le coût moyen au véhicule-km peut se calculer à partir des nombres de véhicules-km déterminés pour chaque ville au chapitre I, section II, § 5, dont on rappelle qu'ils ont été considérés comme très imprécis ; cette même réserve s'applique aux résultats :

Coût moyen d'utilisation des infrastructures de voirie par véhicule-km, en 1965

REGION PARISIENNE	0,030 F
MARSEILLE	0,018 F
TOULOUSE	0,032 F
CAEN	0,025 F
EVREUX	0,051 F

De toute façon ces chiffres sont faibles par rapport aux autres coûts qui seront ultérieurement examinés.

Les **coûts marginaux** correspondants ne peuvent être calculés, faute d'éléments sur la variation des dépenses en cause en fonction du trafic. D'après les premiers travaux de la Commission d'étude des coûts d'infrastructure, portant sur le trafic en rase campagne, il semble cependant que les coûts marginaux soient inférieurs aux coûts moyens.

IV. — LES COUTS DE FONCTIONNEMENT DES VÉHICULES ROUTIERS.

On examinera successivement les coûts des voitures particulières, des poids lourds et des autobus.

A la différence du cas des transports ferrés (métro, chemins de fer), les dépenses relatives au fonctionnement des véhicules routiers sont automatiquement isolées de celles relatives aux infrastructures, car elles sont à la charge de personnes différentes.

Chaque voiture particulière étant autonome on peut, dans des conditions de circulation données, l'individualiser et calculer un coût moyen de fonctionnement, égal en fait au coût marginal, aux frais fixes près.

Dans le cas des autobus, il n'en est plus de même : les coûts sont ceux d'une entreprise qui gère un ensemble de véhicules et de personnels, et dépendent des règles d'exploitation. Il se pose à cet égard des problèmes complexes qui sont développés plus longuement.

1) COUTS DE FONCTIONNEMENT DES VOITURES PARTICULIÈRES

Les dépenses de fonctionnement des voitures particulières sont assez bien connues. Elles font l'objet de nombreuses formules soit dans les barèmes des administrations, soit dans les journaux spécialisés. Cependant, si ces formules font généralement une distinction entre la route et la ville, peu d'entre elles tiennent compte de la vitesse en circulation urbaine, ce qui est pourtant nécessaire à l'étude de certains aspects des coûts marginaux.

On s'est référé pour l'essentiel aux études effectuées à la Direction des Routes et de la Circulation Routière et à l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Parisienne, en les complétant par des indications fournies par le Service Régional de l'Equipement de la Région Parisienne et l' « Auto-Journal » (Réf. 16, 24, 25, 26).

Il convient au préalable d'indiquer la décomposition du prix de l'essence et des différentes taxes qui le composent. Ces chiffres, publiés par le Comité professionnel du Pétrole **(Réf. 27)**, sont résumés dans le tableau suivant :

Décomposition du prix de l'essence-auto (en centimes par litre)

Décomposition	au 1-1-1960	au 1-1-1965	au 1-1-1969
Droits et taxes (ex raffineries)			
Taxe intérieure	66,2	65,0	59,0
T.V.A.	1,7	1,7	15,6
Redevances diverses	5,5	4,8	4,6
Total	**73,4**	**71,5**	**79,2**
Prix hors taxes	25,6	22,5	24,8
Prix de vente (à Paris)	99	94	104

Décomposition du prix du Supercarburant (en centimes par litre)

Décomposition	au 1-1-1960	au 1-1-1965	au 1-1-1969
Droits et taxes (ex raffineries)			
Taxe intérieure	68,3	69,0	61,9
T.V.A.	1,7	1,7	16,9
Redevances diverses	5,5	4,9	4,7
Total	**75,5**	**75,6**	**83,5**
Prix hors taxes	28,5	27,4	29,5
Prix de vente (à Paris)	104	103	113

Ce que l'on peut considérer comme la surtaxation spécifique du carburant comprend au premier chef la taxe intérieure ; néanmoins, comme la T.V.A. est calculée actuellement sur le prix de vente de l'essence, taxe intérieure comprise, et non sur son prix de revient, il est raisonnable d'inclure aussi dans la surtaxe sur l'essence la part de T.V.A. portant sur la taxe intérieure. La surtaxe peut ainsi être évaluée à environ, en 1969 :

0,68 F par litre d'essence auto

0,71 F par litre de supercarburant

Pour évaluer les dépenses de fonctionnement des voitures particulières, on a considéré un véhicule « moyen » (type Renault R 8 ou R 10). La variation de la consommation d'essence en fonction de la vitesse est fournie notamment par les études d'Abraham et Alexandre sur la consommation en ville (Direction des Routes et de la Circulation Routière). Les dépenses d'entretien, de réparation et d'usure ont été forfaitairement fixées à **0,07 F par km** (L'Auto-Journal **Réf. 27).** Les coûts donnés dans le tableau suivant **excluent les dépenses fixes** (frais de garage, d'amortissement, d'assurance) qui, soit rigoureusement, soit en première approximation, sont indépendantes du kilomètrage et du nombre de déplacements effectués par le véhicule.

Coûts de fonctionnement en zone urbaine d'un véhicule particulier moyen en 1969, et surtaxe spécifique qu'il supporte

Vitesses moyennes	Consommation approximative en litres au 100 km	Dépenses de carburant (F/km) (super carburant)		Coût total de fonctionnement (taxes comprises) en francs par kilomètre
		totales	dont surtaxe spécifique	
10 km/h	16,5	0,186	0,116	0,25
15 »	13,5	0,1552	0,095	0,22
20 »	12	0,135	0,085	0,20
30 »	9,5	0,107	0,067	0,18
40 »	8	0,090	0,056	0,16
50 »	7	0,079	0,050	0,15

En 1965, les coûts de fonctionnement étaient plus faibles d'environ 10 à 20 %.

L'I.A.U.R.P. a proposé d'évaluer le coût au kilomètre par la formule approximative suivante qui donne des résultats légèrement inférieurs à ceux du tableau précédent, eux-mêmes plus récents :

$$C = 0{,}112 + 0{,}025\ \theta$$

θ étant le temps de parcours du kilomètre en minutes.

2) COUT DE FONCTIONNEMENT DES POIDS LOURDS

En milieu urbain, les transports de marchandises sont le fait de véhicules très divers : véhicules légers de livraison aussi bien que poids lourds de gros tonnage effectuant des transports interurbains, mais dont le parcours se termine en agglomération.

Il est donc difficile de définir un véhicule « moyen ».

Les transports de marchandises n'étant pas traités dans ce rapport, on se bornera à citer quelques ordres de grandeur des coûts de fonctionnement. Ceux-ci comprennent le salaire du chauffeur, l'amortissement et l'assurance, l'entretien et les réparations, et la consommation de carburant.

Pour des poids lourds dont la charge utile varie de 1,4 t à 22 t, le **coût moyen** par km est compris entre (1)

— 0,80 F et 1,40 F pour une vitesse moyenne de 25 km/h
— 1,75 F et 3,00 F pour une vitesse moyenne de 10 km/h

3) COUTS DE FONCTIONNEMENT DES AUTOBUS : COUTS MOYENS ET COUTS MARGINAUX.

Après avoir donné les coûts moyens de fonctionnement recueillis dans les villes de l'échantillon, on s'étendra plus longuement sur l'estimation du coût marginal. Elle sera en effet l'occasion d'analyser sous cet angle la gestion d'un service de transport en commun, de montrer l'influence de ses règles de fonctionnement, et d'indiquer les diverses acceptions que peut recevoir la notion de coût marginal.

COUTS MOYENS.

Les dépenses comprennent :

— les dépenses de personnel (salaires et charges sociales des personnels roulants, cadres du service d'exploitation, du personnel des ateliers et dépôts et des services administratifs) ;
— les charges d'amortissement du matériel roulant (extension et renouvellement du parc) ;
— les dépenses d'énergie (carburant, électricité pour les tramways et trolleybus), de pneumatiques et produits divers, d'impôts et taxes, d'assurances, frais généraux, etc...

Les dépenses de personnel peuvent représenter 40 à 60 % du total, les dépenses d'amortissement 8 à 16 %.

Le total des diverses dépenses est donné ci-après :

Coût moyen de fonctionnement des autobus, en 1965 *

Réseaux		Coût moyen au véhicule-km
R.A.T.P.	Paris 2 Agents	6,40 F
	Paris 1 Agent	3,99 F
	Région Parisienne :	
	Banlieue 2 Agents	5,60 F
	Banlieue 1 Agent	4,39 F
	Grande Banlieue	3,85 F
	Ensemble	5,42 F
R.A.T.P.	Autobus sur Autoroute (ligne 215 : Paris-Orly)	3,22 F
MARSEILLE		4,34 F
TOULOUSE		2,98 F
CAEN		2,66 F
ÉVREUX		1,69 F

* Source : Ministère des Transports.

(1) Données fournies par la Direction des Routes et la Direction des Transports Terrestres.

On constate de grandes différences d'une agglomération à l'autre ainsi qu'à l'intérieur de la Région Parisienne. Ceci est dû aux modes d'exploitation différents (un ou deux agents), mais plus encore aux variations de la vitesse commerciale, qui est plus élevée en banlieue et dans les petites villes, ainsi qu'au kilomètrage des véhicules, à la politique d'investissement, etc...

Généralement, on admet que le passage au service à un seul agent permet une économie de 15 à 20 %. Mais il n'est pas toujours possible, surtout lorsque la ligne est très chargée.

L'influence de la vitesse commerciale est moins bien connue. mais est très importante. On peut admettre qu'une grande partie des dépenses kilométriques, en particulier celles de personnel roulant, est à peu près proportionnelle au temps de parcours du kilomètre, c'est-à-dire inversement proportionnelle à la vitesse commerciale. Ainsi dans les grandes villes une part importante des coûts de fonctionnement est imputable aux encombrements.

Enfin, l'influence de la taille des autobus sur les coûts est peu sensible si l'on se place dans des conditions d'exploitation identiques, puisque les dépenses de personnel sont prépondérantes.

Le **coût moyen par usager-km** dépend évidemment du taux d'occupation des autobus. Selon diverses estimations, celui-ci serait en moyenne d'environ de l'ordre de 20 voyageurs par autobus pour l'ensemble de la journée. Le coût moyen par usager-km peut donc varier de moins de 0,10 F à 0,30 F.

Les coûts moyens par voyageur transporté sont respectivement :

Coût moyen de fonctionnement des autobus par voyageur transporté, en 1965

Réseau routier R.A.T.P.	0,91F
MARSEILLE RATVM	0,77 F
TOULOUSE	0,48 F
CAEN	0,47 F
EVREUX	0,53 F

COUT DU VEHICULE MARGINAL

Si l'on s'intéresse au coût du véhicule marginal, il convient essentiellement de distinguer heures creuses et heures de pointe.

Le coût marginal est supérieur au coût moyen, en heure de pointe, et inférieur en heure creuse, pour au moins trois raisons :

— la vitesse commerciale est plus faible en heures de pointe,

— le parc de véhicules, dont l'effectif est calculé pour le trafic de pointe, n'est utilisé à plein qu'à ce moment de la journée.

On sait que la valeur résiduelle d'un véhicule comprend deux termes : l'un qui dépend de son kilométrage, l'autre de son âge. Une augmentation du kilomètrage annuel des autobus, résultant par exemple d'une plus grande utilisation en heures creuses, diminuera le coût moyen d'amortissement kilométrique. Inversement, une augmentation du kilométrage en heures de pointe nécessite l'achat de nouveaux véhicules. Il est donc logique d'imputer aux kilomètres parcourus pendant les heures creuses une charge d'amortissement moins élevée.

On notera également qu'en période creuse, ce sont souvent les véhicules les plus récents, dont le coût d'exploitation est plus faible, qui sont utilisés en priorité.

— de même, le personnel du Service d'exploitation n'est employé pleinement qu'en heure de pointe et est souvent sous-utilisé en période creuse.

On conçoit donc que la différence entre les coûts marginaux en heures creuses et en heures de pointe soit importante. Malheureusement aucune étude n'a permis encore de les chiffrer avec précision.

COUT DE L'USAGER MARGINAL

La définition du coût de l'usager marginal, qui suppose que l'on pousse jusqu'au bout le raisonnement marginaliste (1), est délicate. Il faut en effet tout d'abord bien définir les **règles d'exploitation** adoptées par l'entreprise. Augmente-t-elle la fréquence, et, si oui, de combien, lorsque des voyageurs supplémentaires se présentent ?

On doit à cet égard distinguer deux cas principaux :

— *Cas où la capacité est surabondante.*

Cette situation se rencontre aux heures creuses où, pour une raison de service public, un fréquence minimale est toujours exigée, même si le trafic est faible ; on l'observe aussi aux heures de pointe sur certaines portions de lignes, aux extrémités périphériques notamment.

Si l'on adopte comme normes de service public une fréquence minimale **indépendante du trafic,** le coût marginal est négligeable : l'usager supplémentaire trouve toujours une place libre.

Si par contre les normes de fréquence **dépendent du trafic** (on pourrait par exemple déterminer la fréquence optimale en fonction du trafic, à partir d'un bilan coûts- avantages qui tiendrait compte des temps d'attente des usagers), alors le coût de l'usager marginal n'est pas nul : il tient compte de ce que coûte, en heure creuse, la mise en service d'un autobus supplémentaire sur la ligne.

(1) La distinction entre la définition du coût de l'usager marginal et celle du véhicule marginal correspond à deux conceptions différentes de la tarification (voir Chapitre IV, section II, § 5). L'une pourrait conduire en heure creuse à appliquer un tarif nul (du moins si la fréquence est fixée indépendamment du trafic) ; l'autre à faire supporter le coût marginal de fonctionnement d'un autobus par les usagers qui l'utilisent, le prix par tête étant, dans ce cas, d'autant plus élevé que le taux d'occupation est faible.

— Cas où toutes les places offertes sont occupées.

C'est le cas de certaines sections de lignes pendant une partie de la période de pointe. Le voyageur marginal, ou voyageur « critique » (selon la définition de la R.A.T.P.), qui franchit une telle section « critique » prend part à la nécessité de mettre en service un véhicule supplémentaire. On peut alors calculer le coût qu'engendre ce voyageur en divisant la dépense supplémentaire entraînée par le nombre de voyageurs critiques supplémentaires que pourra transporter le véhicule ajouté.

C'est aussi le cas en période creuse, lorsque l'exploitant ne cherche qu'à adapter la capacité offerte au trafic, sans préoccupation d'une qualité de service minimale, ou dans certains cas en période de semi-pointe. Le calcul du coût de l'usager marginal est analogue, mais la dépense relative à la mise en service d'un autobus supplémentaire est plus faible qu'en heure de pointe (en particulier, le terme d'amortissement est très faible).

La R.A.T.P. a calculé — nécessairement d'une manière approximative — le coût, en heure de pointe, d'un usager marginal critique, dont on vient de voir la définition, et celui d'un voyageur marginal moyen. Ce dernier est la moyenne pondérée du coût des usagers marginaux critiques et non critiques. Le coût d'un usager marginal non critique est lui-même supposé négligeable (1).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Coûts marginaux de fonctionnement en heure de pointe sur les autobus de la R.A.T.P. en 1965

	PARIS (adjonction d'une voiture supplémentaire sur toute la longueur aller et retour de la ligne)		**Banlieue et Grande Banlieue (2 agents ou 1 agent parcours de 4 à 15 km)**
	2 agents	**1 agent**	
Voyageur **marginal critique** (heure de pointe) (occasionel (migrant (1)	3,33 F 2,10 F	3,04 F 1,81 F	2,80 F à 3,11 F 16,7 F à 2,05 F
Voyageur **marginal moyen** (heure de pointe) (occasionel (migrant (1)	1,08 F 0,68 F	0,98 F 0,59 F	0,91 F à 1 F 0,54 F à 0,63 F
Recette moyenne par voyageur (au module d'équilibre) (2)	0,74 F		1,08 F à 3,60 F selon le nombre de sections)
Coût moyen d'un voyageur transporté (ensemble de la journée)	0,91 F		

(1) C'est-à-dire effectuant un trajet domicile-travail.

(2) C'est-à-dire sur la base du tarif qui conduirait à l'équilibre du réseau.

(1) Note du 10 février 1967 - R.A.T.P. - Direction des Etudes Générales - Cette note est reproduite en annexe n° VI.

On notera qu'ils dépendent, outre des facteurs déjà énumérés, d'autres éléments tels que la longueur de la ligne, la structure du trafic, la longueur du parcours effectué par la voiture supplémentaire mise en service, etc...

Il semble résulter de cette étude que :

— le coût d'un voyageur effectuant des déplacements domicile-travail, est moins élevé que celui du voyageur occasionnel, car l'autobus supplémentaire correspondant pourra être utilisé le matin et le soir ;

— le coût d'un voyageur marginal critique (c'est-à-dire empruntant une section saturée) d'heure de pointe est 2 à 3 fois supérieur au coût moyen calculé sur l'ensemble de la journée ;

— le coût d'un voyageur marginal moyen d'heure de pointe est peu différent de ce même coût moyen. Ce résultat, assez paradoxal à première vue, comporte deux explications explicitées dans les développements qui précèdent. D'une part le coût du voyageur marginal moyen d'heure de pointe est une moyenne pondérée entre celui, très élevé, des voyageurs critiques et celui des voyageurs non critiques (c'est-à-dire n'empruntant que des sections non saturées), dont on a vu qu'il était négligeable. D'autre part et surtout, le coût moyen calculé sur l'ensemble de la journée comprend le coût des voyageurs d'heure creuse, lequel est élevé parce qu'alors les véhicules sont faiblement occupés (1).

V. — LES COUTS DE FONCTIONNEMENT DES TRANSPORTS FERRÉS EN RÉGION PARISIENNE.

La distinction entre les dépenses d'infrastructure et les dépenses de fonctionnement des véhicules n'est pas nécessaire dans le cas des transports ferrés, qui sont gérés par une même entreprise. Il serait d'ailleurs difficile de l'effectuer avec précision, la comptabilité n'ayant pas été conçue à cette fin.

Les transports urbains par voie ferrée ne jouant en province qu'un rôle négligeable, on s'est limité au cas de la région parisienne. Pour les lignes de banlieue de la S.N.C.F., les éléments disponibles ne permettent de calculer que les coûts moyens. Pour le métro (ainsi qu'on l'a fait plus haut), on calculera les coûts moyens et les coûts marginaux de fonctionnement, qui comprennent cette fois les dépenses d'utilisation des infrastructures (mais non les investissements).

1) COUTS MOYENS SUR LA S.N.C.F. ET LA R.A.T.P.

S.N.C.F.

Les dépenses de fonctionnement, telles que définies dans les comptes de la S.N.C.F., pour l'année 1965, à l'intérieur de la zone de banlieue (délimitée par le décret du 3 mai 1939), se décomposent comme suit :

(1) Ce qui n'est pas contradictoire avec le fait que le coût marginal d'heure creuse soit très faible, comme on l'a vu ; car l'adjonction de voyageurs supplémentaires répartit alors sur un nombre plus grand d'usagers un coût à peine accru.

Circulation	374.800.000 F
(dont 44.100.000 pour le matériel roulant)	
Charges d'infrastructure	160.400.000 F
Taxes de prestations de services et timbres	42.400.000 F
Total	577.600.000 F

On comptait en 1965, 16.232.000.000 places-km, 363 millions de voyageurs et 5.560 millions de voyageurs-km. On en déduit les dépenses unitaires suivantes :

0,036 F par place-km
1,59 F par voyageur transporté
0,10 F par voyageur-km transporté

R.A.T.P. (Métropolitain)

On a préféré se limiter au cas du métropolitain proprement dit, en faisant abstraction de la ligne de Sceaux, dont le caractère est hybride. Pour l'année 1965, les chiffres sont les suivants :

Dépenses de fonctionnement	545.480.000 F
Voitures-km	172.705.000
Places-km offertes	26.369.000.000
Parcours moyen des voyageurs	5,3 km

On en déduit des dépenses unitaires de :

0,021 F par place-km offerte,
0,46 F par voyageur transporté.
0,09 F par voyageur-km transporté.

2) **COUT DE L'USAGER MARGINAL DANS LE MÉTRO** (voir annexe VII).

La définition du coût de l'usager marginal du métro est aussi délicate que dans les autobus, car elle dépend des règles d'exploitation que l'on s'est fixées.

Ainsi, en heure de pointe, le transport d'un usager supplémentaire peut conduire aux adaptations suivantes, en écartant bien entendu tout investissement d'infrastructure tel que l'allongement des quais, puisque l'on s'intéresse ici au coût marginal à court terme :

— augmentation de la capacité par allongement de la rame de métro (si cela reste possible) ;

— augmentation de la capacité par accroissement de la fréquence des rames (si cela reste possible) ;

— maintien des conditions d'exploitation des rames, s'accompagnant alors d'une augmentation du « tassement » des usagers dans les voitures ;

— maintien des conditions d'exploitation des rames, mais sans accroître le nombre des voyageurs admis au portillon ; il en résulte une augmentation du temps d'attente derrière celui-ci.

On notera que, dans les deux derniers cas, l'usager supplémentaire engendre un coût marginal social, puisqu'il augmente l'inconfort ou les temps d'attente des autres usagers (voir section VIII, § 3).

CAS D'UNE LIGNE NON SATURÉE

La R.A.T.P. s'est livrée, comme pour son réseau routier, au calcul du **coût marginal à court terme, en heure de pointe,** d'un usager du métro **sur la ligne n° 3,** aux conditions économiques de 1969. Cette ligne n'est **pas tout à fait saturée,** c'est-à-dire qu'il est possible d'augmenter la fréquence des trains à l'heure de pointe.

Le calcul est basé sur le coût de la mise en service d'une rame supplémentaire.

La définition du voyageur critique étant la même que dans les autobus, les résultats sont les suivants :

Coût du **voyageur marginal critique : 1,95 F**
(dont 1,77 F de charges d'amortissement du matériel roulant)

Coût du **voyageur marginal moyen : 0,47 F**
(dont 0,43 F de charges d'amortissement du matériel roulant)

A titre de comparaison, aux mêmes conditions économiques de 1969, le coût moyen par voyageur transporté sur la ligne n° 3 ressort à 0,69 F ou 0,91 F, selon que l'on exclut ou non les voyageurs provenant des correspondances.

Le coût du voyageur marginal critique apparaît donc environ 3 à 5 fois plus élevé que le coût moyen. Mais le coût de l'usager marginal moyen d'heure de pointe serait, paradoxalement, du même ordre de grandeur que le coût moyen ; on peut proposer à ce paradoxe apparent les mêmes explications que dans le cas des autobus (voir section IV, § 3).

CAS D'UNE LIGNE SATURÉE

Sur une ligne saturée, ce calcul n'est plus valable. Il faudrait dans ce cas identifier le coût marginal à court terme à un coût social qui, comme il a été indiqué plus haut, traduirait l'augmentation de l'inconfort ou des temps d'attente des usagers. Un tel calcul n'est pas possible dans l'état actuel des connaissances, mais il est probable qu'on obtiendrait des coûts beaucoup plus élevés.

Il est cependant possible de calculer sur une ligne saturée un **coût marginal à long terme, en heure de pointe,** en supposant qu'on accroît la capacité de l'infrastructure pour absorber le trafic supplémentaire. Le calcul d'un tel coût a été effectué à titre indicatif, par la

R.A.T.P., également aux conditions économiques de 1969, sur la ligne n° 3, en la supposant saturée. On a évalué les investissements que nécessiterait l'allongement des stations afin que des rames comportant 6 wagons au lieu de 5 puissent y circuler (1) ; l'amortissement est calculé sur la base d'hypothèses moyennes.

Le coût marginal à long terme d'un **voyageur moyen** ressort à **1,98 F.**

Sur la base d'un parcours moyen d'environ 5 km 3, le **coût par usager-km** serait d'environ 0,37 F.

On peut évidemment contester ce mode d'évaluation du coût marginal à long terme dans la mesure où l'allongement des stations pour recevoir un wagon supplémentaire est un investissement discontinu (voir section I, § « Coûts moyens et coûts marginaux », note de bas de page) et où l'on ignore si la capacité actuelle de l'infrastructure sur la ligne considérée est optimale. Il est très difficile de dire si le coût marginal à court terme est, sur une ligne de métro saturée, inférieur ou supérieur au coût marginal à long terme ainsi évalué. Il est cependant probable que le coût à court terme, est, compte tenu des conditions de transport actuellement très inconfortables, assez élevé, comme l'est le coût marginal à long terme. L'ordre de grandeur de ce dernier (0,37 F par usager/km) devra être comparé au coût de congestion de la voiture particulière aux heures de pointe.

Ce raisonnement est-il valable pour de nombreuses lignes ? La question est difficile. La R.A.T.P. expérimente de nouvelles méthodes d'exploitation (limitation des accès aux stations, central de régulation automatique, etc.) dont on peut attendre des possibilités d'augmentation du débit non négligeables, même sur les lignes considérées actuellement comme saturées.

Dans cette perspective, le coût marginal à court terme sur de telles lignes serait très inférieur à la valeur précédente.

VI. — LA VALEUR ATTACHÉE AU TEMPS PASSÉ.

On a vu qu'il est maintenant classique d'assimiler le temps passé à un coût et l'on généralise cette notion en y rattachant celle du coût de l'inconfort, qu'il s'agisse de la fatigue physique qui en résulte ou de facteurs psychologiques divers.

La valeur attachée au temps est non seulement un des éléments du coût ressenti par l'usager mais elle sert également à calculer les coûts sociaux qui consistent en des pertes de temps.

(1) Sur certaines lignes, il existe des stations dont la longueur est déjà suffisante. Le calcul donnerait alors un coût moins élevé.

1) LA VALEUR DU TEMPS PROPREMENT DITE

On a vu au chapitre II que la théorie économique conduisait à introduire comme élément du prix généralisé d'un bien un « prix du temps », proportionnel au temps passé à sa consommation, que l'on a exprimé par le cœfficient $B = \frac{\mu}{\lambda}$ appelé valeur unitaire du temps (1).

Lorsque l'on cherche à donner une signification pratique à cette valeur du temps (concept qui résulte, on le rappelle, de l'introduction dans la théorie de la contrainte du « budget temps » c'est-à-dire de l'idée que le temps dont chacun dispose pour l'ensemble de ses activités est limité) on doit distinguer plusieurs cas, selon la nature des activités pour lesquelles le temps passé en transports pourrait être récupéré. Ce sont elles en effet qui donnent au temps sa valeur :

— le temps du déplacement est pris sur les heures de travail. Le temps ainsi soustrait aurait donné lieu à une « production » et on peut estimer que sa valeur est précisément celle de cette production. La satisfaction individuelle de la personne qui se déplace s'estompe alors pour laisser place à celle de l'employeur : c'est cette dernière qu'il convient de mesurer, du point de vue de la collectivité ;

— le déplacement a lieu en dehors des heures de travail, ce qui est le plus fréquent. Dans ce cas, le temps qu'il prend est prélevé sur d'autres activités telles que la culture, le loisir, voire le sommeil. On voit le caractère très subjectif du prix attaché à la satisfaction de ces besoins et combien peut être variable la valeur du temps pour un même individu, selon les circonstances, et a fortiori d'un individu à l'autre.

L'estimation pratique des valeurs du temps est basée sur les études de comportement des individus en matière de déplacements. On a pu calculer quelques valeurs moyennes en étudiant le choix des usagers entre itinéraires concurrents (trafic interurbain) ou entre modes de transports (trafic urbain). On peut seulement dire que tout se passe comme si ces valeurs du temps étaient celles que l'usager moyen prend en compte dans son **comportement individuel.**

Une hypothèse implicite dans ces études est que la valeur de l'unité de temps est constante pour un déplacement donné, c'est-à-dire indépendante de sa durée. Il résulte de ce qui précède que cela peut être contesté, d'autant qu'en milieu urbain l'éventail des temps de parcours est important.

---

(1) On rappelle que, dans cette optique, une certaine forme d'optimum général économique est atteinte par la satisfaction individuelle de chacun des agents économiques, à condition que la répartition des revenus soit « optimale » (c'est-à-dire que l'utilité marginale de la monnaie $1/\lambda$ ait la même valeur pour tous les individus).

Les principaux résultats de ces études sont les suivants :

Valeur attachée au temps par les usagers
(valeur de l'heure, en 1962, 1964, 1965).

Domicile-Travail

— Paris 1962 : usagers choisissant entre voiture particulière et transport en commun **(réf. 9)** 5,10 F

— Paris 1962 : usagers choisissant entre autobus et métro **(réf. 9)** 3,20 F

— Marseille 1965 : usagers choisissant entre voiture particulière et transports en commun **(réf. 28)** 5,45 F

— Lyon-Bron 1965 : usagers choisissant entre voiture particulière et transports en commun **(réf. 14)** 4,50 F

Courses-Achats

— Paris 1965 **(réf. 16)** 3,50 F

— Trafic routier interurbain 1964 (voitures particulières) : par véhicule 8,00 F

On constate que les usagers qui ont à choisir entre la voiture particulière et les transports en commun ont une valeur du temps supérieure à ceux qui ont à choisir entre deux modes de transport en commun. On peut l'attribuer au fait qu'étant tous dotés d'une voiture, ils ont un revenu supérieur à la moyenne.

Il est actuellement classique dans les études de transports urbains de prendre comme valeur pour les trajets du domicile au lieu de travail 6 f de l'heure par usager et 8 f par véhicule (sur la base d'un taux d'occupation de 1,3). La valeur du temps serait vraisemblablement plus forte pour les déplacements d'affaires et plus faible pour les déplacements destinés à des achats.

Il est facile d'en déduire le tableau suivant

Coût du temps passé par les automobilistes en fonction de la vitesse
pour un kilomètre - époque 1964-1967

Vitesse	Coût du temps passé par un usager, au km (à 6 F de l'heure)	Coût du temps passé pour une voiture particulière, au km, sur la base d'un taux d'occupation de 1,3
15 km/h	0,40 F	0,53 F
20 km/h	0,30 F	0,40 F
30 km/h	0,20 F	0,27 F
40 km/h	0,15 F	0,20 F
60 km/h	0,10 F	0,13 F

On doit se demander si ces valeurs du temps « **individuelles** » ne sont pas entachées d'un biais important, et si l'on est autorisé à les prendre telles quelles pour calculer des avantages ou des coûts pour la collectivité, comme on le fait dans la suite de ce chapitre.

En effet, la différence de la valeur du temps selon les revenus traduit le fait que chacun attribue psychologiquement à son temps un prix en rapport avec son pouvoir d'achat ; elle peut provenir aussi de ce que les personnes ayant des ressources importantes ont souvent des occupations très absorbantes qui leur font considérer leur temps comme d'autant plus précieux. Mais cette différence peut aussi résulter de contraintes financières liées au fait que la répartition des revenus n'est pas « optimale ». En d'autres termes, si les usagers de faible revenu ont une faible valeur du temps, cela peut simplement tenir au fait qu'ils n'ont pas les moyens financiers « d'acheter » davantage de temps (1).

Cette remarque est fondamentale en ce qui concerne les transports urbains, car la composition sociologique de la clientèle de chaque mode de transport est différente.

2) L'INCONFORT

La notion d'inconfort ou de qualité de service attachée à un mode de transport peut être introduite dans le prix généralisé, comme il a été indiqué au chapitre II. Il est logique de la rattacher à la valeur du temps.

Les études faites par l'I.A.U.R.P. sur Paris ont conduit à constater que certaines parties du déplacement étaient jugées par les usagers plus pénibles ou, autrement dit, que le temps leur correspondant était estimé par eux plus coûteux que le temps passé dans l'autobus ou le wagon du métro proprement dit. Les « coefficients de pénibilité », par lesquels il faut multiplier les valeurs de ce temps données précédemment, sont, dans les conditions actuelles d'exploitation :

pour la marche à pied	: 1,7
pour l'attente de l'autobus	: 2 à 3
pour les correspondances dans le métro (couloirs, attente...)	: 2

Ces études sont certes insuffisantes. Elles ne permettent pas de chiffrer, par exemple, l'inconfort des transports en commun à l'heure de pointe. On peut aussi penser qu'une formule plus fine, comportant un terme fixe et un terme proportionnel au temps, serait préférable à l'emploi d'un simple coefficient multiplicateur.

Ces évaluations ont cependant permis d'importants progrès dans les études de comportement des usagers des transports urbains et les calculs économiques doivent en tenir compte.

(1) Voir notamment une étude du C.R.E.D.O.C. réalisée pour le compte du S.A.E.I. **(réf. 28).**

En conclusion, on voit que, s'il n'est pas actuellement possible de mesurer des valeurs collectives à affecter au temps passé en transports urbains, des valeurs individuelles ont pu être déterminées, capables de donner des indications intéressantes sur la gêne ressentie par les usagers, notamment pendant les périodes de congestion. C'est dans cet esprit que l'on a utilisé la valeur classique de 6 f/heure indiquée ci-dessus, qui pour toutes les raisons indiquées, est vraisemblablement trop faible. On s'est cependant assuré que la prise en compte de valeur du temps beaucoup moindres ne modifierait pas les conclusions générales de l'étude.

VII. — LE COUT DES ACCIDENTS : CAS DE LA RÉGION PARISIENNE.

1) COUT DES ACCIDENTS POUR LES VOITURES PARTICULIÈRES.

Le coût des accidents, pour la collectivité, est pour une partie un coût social, puisqu'il comprend notamment les dommages que les usagers d'une infrastructure se causent réciproquement ; cette partie est de beaucoup la principale dans le cas des voitures automobiles.

En théorie, les usagers supportent eux-mêmes, **en moyenne,** le coût moyen des accidents :

— par les primes d'assurances, qui couvrent globalement la partie des dommages donnant lieu à indemnité ;

— en prenant en charge directement la partie restante : par exemple, pour les assurés seulement « aux tiers », leurs propres dommages dans la mesure où ils en sont responsables.

Toutefois les accidents ont un caractère aléatoire. Sans doute le système de bonifications ou de pénalisation dont sont généralement assorties les primes d'assurances peut-il avoir une certaine influence sur le comportement de l'usager en matière de sécurité. Mais on peut se demander si un « péage » supplémentaire, égal à la différence entre le coût marginal des accidents et leur coût moyen (celui-ci déjà supporté par les usagers d'une manière ou d'une autre), à supposer que l'on sache calculer cette différence (ce qui n'est pas le cas) et qu'elle soit positive en zone urbaine, contribuerait beaucoup à orienter les choix des conducteurs quant à leurs modes et conditions de déplacement.

LES DONNÉES DISPONIBLES

Le nombre d'accidents est connu par les statistiques du Ministère de l'Equipement et du Logement (établies à partir des renseignements fournis par la Sûreté Nationale, la Gendarmerie Nationale et la Préfecture de Police), ainsi que par celles des sociétés d'assurances. Leur coût monétaire et leur coût pour la collectivité peuvent être évalués à partir de recherches effectuées par les Compagnies d'assurances et la Direction des Routes.

Mais ces études se heurtent à diverses difficultés :
— les accidents ne sont connus que par le lieu où ils se sont produits et sont regroupés par département. On ne peut donc isoler une agglomération urbaine, sauf pour Paris et la Région Parisienne (et encore approximativement) ; c'est pourquoi il ne sera donné de chiffres que pour celle-ci.

— les accidents pour lesquels il n'y a que des dégâts matériels ne sont pas recensés par le Ministère de l'Equipement et du Logement. En ce qui concerne les accidents corporels, les blessés très légers ne sont pas non plus recensés et les définitions du Ministère ne sont pas toujours les mêmes que celles des Sociétés d'assurances, ce qui explique les divergences dans les statistiques fournies par ces deux sources.

— Les Sociétés d'assurances n'indemnisent pas toutes les victimes, ni tous les dégâts matériels, tous les possesseurs d'une automobile n'étant pas assurés « tous risques ».

— Pour obtenir un coût marginal, il faudrait connaître la loi de variation du coût total des accidents avec le trafic. Les études de l'Organisme National de Sécurité Routière (ONSER) **(réf. 29),** portant sur la rase campagne, montrent que le nombre d'accidents rapporté au nombre de véhicules-km parcourus n'obéit pas à une tendance nette. On peut admettre, en première approximation, qu'il est à peu près constant.

En rase campagne, le coût marginal serait donc égal au coût moyen. Faute d'information, rien ne permet d'ailleurs d'affirmer qu'il en est de même en zone urbaine.

LES COUTS MOYENS

Pour les raisons d'information statistique signalées plus haut, on est obligé de baser l'étude sur l'ensemble des anciens départements de la Seine, de la Seine-et-Oise et de la Seine-et-Marne, ce qui ne laisse pas d'introduire une part non négligeable de circulation en rase campagne.

Selon le « Groupement Technique Accidents » constitué par l'Association Générale des Sociétés d'assurances contre les accidents, l'estimation corrigée du nombre total de victimes en 1965 (voir dans l'annexe IX des renseignements plus détaillés) est de 1.400 tués, 27.000 blessés graves et 54.000 blessés légers.

Selon la Direction des Routes les conséquences économiques de la perte d'une vie humaine sont estimées en moyenne à 150.000 F et le coût moyen du blessé (1) à 5.500 F (en valeur 1964). D'après ces chiffres, le coût pour la collectivité des dommages corporels ressort donc à 655.000.000 F.

Le coût total des dégâts matériels, indemnisés ou non, est évalué par le Groupement à 1.100.000.000 F, qui comprennent 525.000.000 F d'indemnités de responsabilité civile.

Si l'on considère que le parc de la Région Parisienne s'élève en 1965 à 2,5 millions de véhicules à 4 roues, le coût annuel pour la collectivité des accidents corporels et matériels ressort à environ **700 F par véhicule** (la prime versée pour la responsabilité civile s'élevant en moyenne à 390 F par véhicule environ).

(1) On rappelle que ces estimations ont été effectuées à partir de l'évaluation des coûts des soins, des indemnisations des assurances, de la perte pour la production nationale due à la disparition d'une personne active, etc.

Le nombre de véhicules-km annuel étant d'à peu près 18.000.000.000 (voir chapitre 1, section II, § 5), le coût par véhicule-km serait donc d'environ 0,10 F. Ce résultat est certainement surestimé car il comporte une part d'accidents survenant hors agglomération et, de ce fait, repose sur une évaluation excessive du coût du blessé. On propose donc finalement l'estimation suivante (1) :

0,08 F par véhicule-km

0,06 F par usager-km

Ces coûts ne comprennent pas les frais de gestion et de commissionnement des Sociétés d'assurances qui, inclus dans la prime versée par les assurés, en représentent environ 30 %. La prise en compte de ces frais conduirait à augmenter de plus de 15 % les chiffres indiqués ci-dessus.

Les coûts des accidents, pour les voitures particulières, sont donc très élevés, puisqu'ils sont d'un ordre de grandeur voisin de celui des coûts de fonctionnement.

2) COUT DES ACCIDENTS POUR LES TRANSPORTS EN COMMUN

En ce qui concerne les **autobus,** le coût des accidents où ils sont impliqués est très faible relativement à l'ensemble des dépenses de fonctionnement. Selon les indications de la R.A.T.P. (2) il équivaudrait en 1966, sur l'ensemble de son réseau d'autobus à

0,094 F par véhicule-km

0,0045 F par usager-km

Par véhicule-km, le coût des accidents impliquant les autobus est donc du même ordre de grandeur que celui des voitures particulières ; mais par usager-km, il est beaucoup plus faible et peut être négligé.

Quant au coût des accidents sur les transports par voie ferrée, il peut, par rapport aux chiffres précédents, être considéré comme nul.

---

(1) Une enquête du C.R.E.D.O.C., portant sur l'année 1965, confirme cet ordre de grandeur : elle évalue à 0,084/véhicule-km le coût des accidents dans la Région Parisienne ; ce chiffre se décompose en
- assurance : 0,060 F
- part à la charge de l'automobiliste : 0,024 F

(2) Source : Service Régional de l'Equipement de la Région Parisienne **(réf. 30).**

VIII. — LES COUTS DE CONGESTION.

On étudiera tout d'abord les coûts de congestion sur le réseau de voirie, engendrés par le ralentissement de la circulation du fait de la multiplicité des véhicules. On peut y rattacher la question de la perte de temps provoquée par e stationnement, qui sera abordée ensuite. Enfin, on évoquera le problème de la congestion dans les transports ferrés.

1) COUT DE CONGESTION SUR LE RESEAU DE VOIRIE

L'introduction d'un véhicule supplémentaire sur une chaussée se traduit par une augmentation de son débit. Le coût marginal social de congestion correspond essentiellement aux dépenses supplémentaires de fonctionnement des véhicules et de temps passé, dues aux diminutions de vitesse des véhicules par augmentation du débit. Il est donc nécessaire pour le calculer de connaître la relation entre temps de parcours et débit.

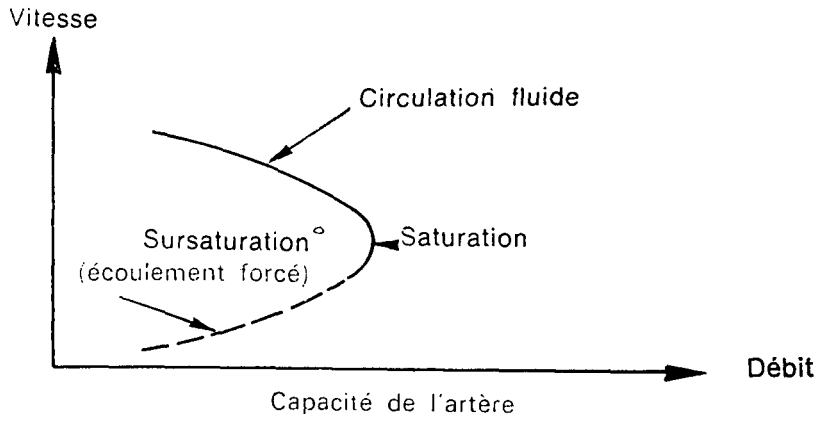
Ce point sera exposé tout d'abord, et l'on constatera à cette occasion l'insuffisance des courbes vitesses/débit qui ont pu être établies, dès lors que la capacité de la voie est dépassée. On indiquera également les coefficients d'équivalence des poids lourds et des autobus. Puis on calculera le coût de congestion d'une voiture particulière, du moins en dessous de la saturation. Enfin, on comparera le coût de congestion pour les usagers des voitures particulières et pour ceux des autobus.

RELATION ENTRE TEMPS DE PARCOURS ET DEBIT

La plupart des mesures faites jusqu'à maintenant portent sur les autoroutes ou voies express, c'est-à-dire sur des circulations **continues.**

Leurs résultats se traduisent par des courbes qui ont la forme ci-après :

COURBE VITESSE-DEBIT SUR AUTOROUTE



La partie supérieure de la courbe correspond à la situation de « circulation fluide » ; la vitesse diminue avec le débit.

Le sommet correspond au cas limite de la **saturation ;** le débit est maximum et égal à ce que l'on nomme « capacité » de la voie.

La partie inférieure correspond à la situation « d'écoulement forcé » ou de **sursaturation** : en un point aval la demande, c'est-à-dire le nombre de véhicules qui s'y présentent, excède la capacité ; le trafic est fortement ralenti car il y a formation de files d'attente.

On appelle **taux de saturation** le rapport du « débit demandé » à la capacité. Dans le cas de la circulation fluide, où la demande est entièrement satisfaite, il est inférieur à 1 ; en cas de sursaturation il est supérieur à 1.

Les mesures sur itinéraire urbain avec carrefour à feux, en circulation **discontinue,** sont beaucoup moins nombreuses.

La forme de la courbe vitesse-débit sur ce type d'artère dépend en fait de nombreux paramètres, tels que :

— Nombre de carrefours à feux au km,

— Coordination ou non de ces feux,

— Rapport de la durée de passage (vert) à la durée d'interdiction (rouge) et longueur des cycles,

— Sens unique ou double sens,

— Importance du trafic débouchant aux carrefours sans feux,

— Importance du stationnement latéral (autorisé ou illicite) et des manœuvres de stationnement.

Des mesures sur artères urbaines ont cependant été effectuées assez récemment et notamment à Paris **(réf. 8 et réf. 29 à 35).**

Ces dernières mesures, réalisées par le S.E.R.C. en 1966, sur certains itinéraires de Paris intra-muros, ont permis d'établir 4 courbes différentes correspondant aux cas suivants : (voir annexe VIII)

Sens unique, feux coordonnées	— Sections résidentielles
Double sens, feux non coordonnés	— Sections commerçantes

La comparaison générale des courbes obtenues montre qu'elles ont toutes une allure semblable et que les résultats trouvés en différents pays sont assez voisins dans de nombreux cas.

INSUFFISANCE DES COURBES VITESSE-DEBIT LORSQUE LA CAPACITE EST DEPASSÉE (SURSATURATION)

Toutes les relations vitesse-débit ont été établies à partir de mesures ponctuelles de vitesse ou, au mieux, à partir de mesures de temps de parcours sur un tronçon déterminé et limité en longueur.

Elles ne sauraient donc exprimer ce qui se passe lorsque le « débit demandé » qui se présente sur une portion du réseau est supérieur à la capacité, car il se forme alors des **files d'attente** en amont du point critique qui, lui, débite en principe au maximum de capacité.

Il faudrait connaître la relation qui existe, pour un réseau donné dont les capacités sont déterminées, entre le « débit demandé » (qu'on peut définir par une matrice origine-destination qui soit fonction des heures de départ) et les temps de parcours entre origine et destination.

La détermination expérimentale ou théorique d'une telle relation est très difficile, car plusieurs phénomènes interviennent en fait lorsque le réseau est sursaturé :

— Processus de files d'attente, décrit précédemment.

— Mauvais fonctionnement du réseau :
Le stockage des véhicules en amont des carrefours ou des points critiques est si important qu'il peut déborder sur d'autres carrefours situés en amont et diminuer ainsi fortement la capacité d'écoulement des rues transversales, si des mesures d'exploitation ne sont pas prises (présence d'un agent de la circulation, etc...).

Ces deux phénomènes expliquent l'existence de la partie inférieure des courbes vitesse-débit ; mais celle-ci n'est malheureusement d'aucun secours pour le calcul d'un coût marginal, puisque le débit mesuré n'est pas égal à la demande :

— Etalement de la pointe : il existe une élasticité de report dans le temps de la demande globale, c'est-à-dire que de nombreux usagers décident d'avancer ou de retarder leur départ pour éviter les encombrements. Toutefois ces contraintes correspondent également à des pertes économiques qu'il faudrait mesurer.

— Reports sur les transports en commun : métro, etc.

La part relative des différents phénomènes d'adaptation précédemment décrits est très mal connue.

Il n'est donc pas possible, dans l'état actuel des connaissances, de calculer les coûts sociaux lorsque le taux de saturation est supérieur à 1.

CŒFFICIENTS D'EQUIVALENCE DES POIDS LOURDS ET AUTOBUS

Les véhicules encombrants que sont les camions, autocars et autobus provoquent une gêne plus grande que la voiture automobile moyenne, dans un rapport que l'on appelle cœfficient d'équivalence.

De nombreuses valeurs numériques de ces coefficients, en circulation continue (voie express, autoroute), sont données par le « Highway Capacity Manual » (**réf. 38**). Pour ce qui concerne les **autobus,** des cœfficients moyens de 1,5 à 1,6 sont généralement cités.

En zone urbaine la circulation est le plus souvent discontinue : carrefours, arrêts des autobus, etc. A partir de mesures faites dans le centre de Londres, le Professeur SMEED **(réf. 39)** propose une valeur moyenne du cœfficient égal à 3. Le cœfficient décroît lorsque le débit d'autobus augmente.

CALCUL DU COUT DE CONGESTION PROVOQUÉ PAR UNE VOITURE PARTICULIÈRE

On a vu, dans la première section de ce chapitre, que le coût marginal de congestion provoqué par un véhicule avait pour expression, en faisant abstraction du désagrément ressenti en circulation encombrée :

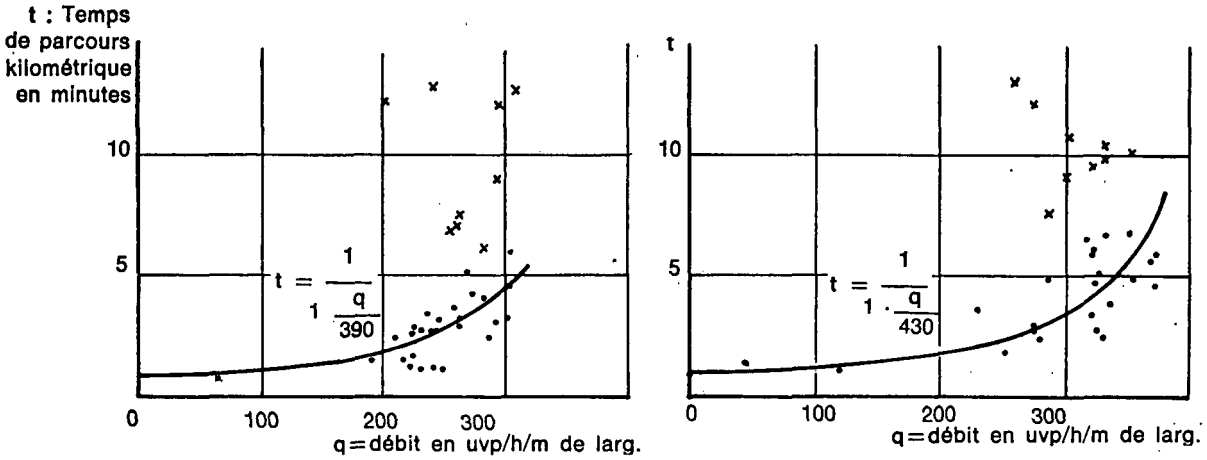
$$q \left(\frac{\delta f}{\delta q} + \frac{\delta t}{\delta q} \right)$$

(q désignant le trafic — f le coût de fonctionnement d'un véhicule, hors taxes — t le temps passé, exprimé en valeur économique). On a également vu, dans la section IV, § 1, que le coût de fonctionnement était fonction de la vitesse. Il en résulte que le coût de congestion peut être déterminé si l'on connaît la relation entre la vitesse et le débit.

Dans le cas des artères non saturées, cette relation peut être déduite des courbes donnant la vitesse en fonction du débit ou, aussi bien, le temps de parcours d'un kilomètre en fonction du débit. Ces courbes sont obtenues à partir de mesures expérimentales dont on a reproduit ci-après des exemples relatifs les premiers à des mesures réalisées en 1966 par le S.E.R.C. dans Paris, les seconds à des mesures faites par WARDROP à Londres. Les experts estiment — car c'est la pente des courbes qui importe — qu'elles ont leur concavité tournée vers le haut, ce que confirment les cas figurés. Leur ajustement sur les nuages de points représentant les mesures expérimentales est inévitablement très imprécis, car ces mesures offrent une grande dispersion, due notamment à divers phénomènes perturbateurs.

Une détermination du coût de congestion, à partir des mesures faites à Paris mentionnées plus haut, est présentée en annexe VIII, où les hypothèses faites et la conduite des calculs sont données en détail. On a choisi d'exprimer la relation entre le débit et le temps de parcours par une formule hyperbolique, ce qui équivaut à une relation linéaire entre le débit et la vitesse. Ce choix, dont l'inévitable arbitraire résulte de la dispersion des mesures, a l'avantage de la simplicité, et il tend d'ailleurs sans doute à atténuer la concavité de la courbe, ce qui conduit à sous-estimer le coût de congestion aux faibles vitesses.

EXEMPLES DE RELATIONS ENTRE LE TEMPS DE PARCOURS ET LE DÉBIT SUR DES VOIES URBAINES

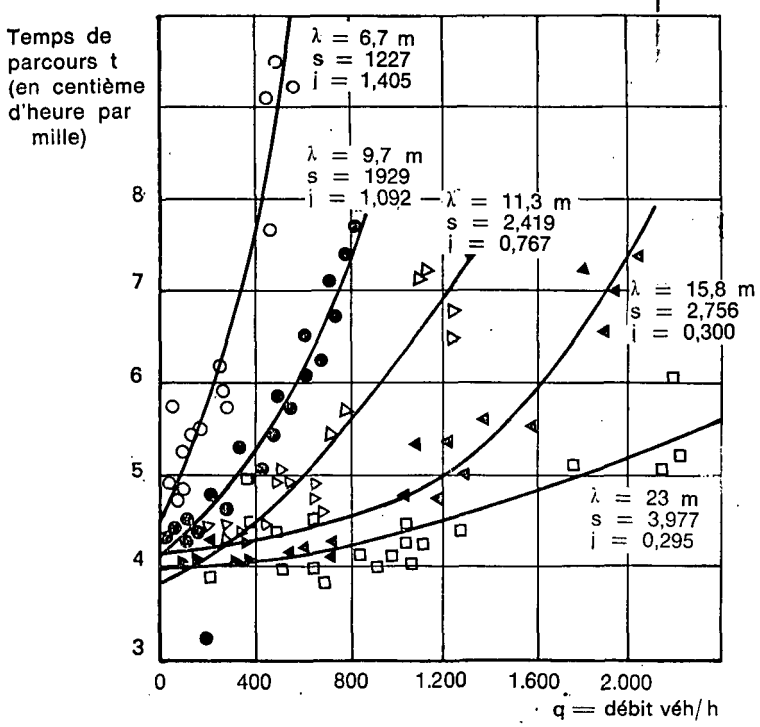


Section Concorde - Rue du Bac **Section Rue du Bac - Rue de Rennes**

1 — Mesures faites sur le **boulevard Saint-Germain à Paris (S.E.R.C. 1966)**

● mesures faites en écoulement fluide

× mesures faites en écoulement forcé



L'équation de ces courbes qui donne le temps de parcours par mille en fonction du débit q est la suivante :

$$t = t_0 \frac{1-(1-j)\frac{q}{s}}{1-\frac{q}{s}}$$

avec
s = débit de saturation (ou capacité) de la voie
j = paramètre caractérisant chaque courbe ou artère dont la largeur λ est indiquée sur la figure)

Mesures effectuées par Wardrop dans diverses artères du centre de Londres (Source : introduction à la Science de la circulation - W.R. Blunden - Trad. du S.E.R.C.).

L'ajustement, dans le diagramme débit-temps de parcours d'un segment de droite sur les points situés au voisinage des plus forts débits conduit à des résultats très voisins.

La valeur m (en francs) du coût de congestion provoqué par une voiture particulière sur 1 km, dans une artère de largeur quelconque, est donnée en fonction de la vitesse V (en km/minute) par la formule, nécessairement approximative :

$$m = \frac{\mu + 0{,}54}{60} \left(\frac{a - V}{V^2}\right)$$

où μ est la valeur du temps par véhicule, en francs par heure (prise ici égale à 8 F de l'heure) et a la vitesse en débit nul (généralement 40 à 50 km/h.).

Les résultats peuvent également s'exprimer en fonction du taux de saturation de la voirie, puisqu'on a vu que la vitesse était en relation avec lui.

Les coûts de congestion traduisent essentiellement les pertes de temps (ils sont à très peu près proportionnels à la valeur du temps). D'autres paramètres influent sur eux, mais les données disponibles conduisent à penser qu'ils ont peu d'influence ou s'éliminent lorsqu'on exprime le coût de congestion en fonction du taux de saturation. Ce sont :

— la largeur de l'artère (si le nombre de voies est double, la gêne causée par l'introduction d'un nouveau véhicule est, par véhicule, deux fois plus faible, mais cela est compensé par le fait que le nombre de véhicules gênés est double) ;

— la nature de l'artère, les caractéristiques des carrefours et des feux.

Lorsque, pour une même valeur du débit en véhicules (ramenés à la même équivalence), c'est-à-dire pour un même taux de saturation, la voie est empruntée par des autobus, le coût de congestion est augmenté. En effet, le nombre d'usagers victimes des pertes de temps est plus élevé (1). En outre, l'aggravation des encombrements a pour effet d'augmenter les irrégularités de passage des autobus et leurs coûts d'exploitation.

Par contre, pour un même nombre d'usagers utilisant la voirie, le coût de congestion est d'autant plus faible que la proportion de ceux qui empruntent l'autobus est plus grande et que, corrélativement, le taux de saturation diminue.

Les résultats du calcul du coût de congestion sont présentés sur le graphique et le tableau ci-après.

Le tableau montre que le coût marginal de congestion peut atteindre des valeurs élevées : de l'ordre de 1 F au km au voisinage de la saturation, sans doute beaucoup plus lorsque la voie est sursaturée

(1) Considérons par exemple le cas, que l'on peut couramment rencontrer dans le centre des grandes villes aux heures de pointe, d'une artère utilisée en nombre égal par les usagers des deux modes de transport. Si un autobus chargé de 60 passagers circule pour 50 voitures transportant chacune 1,3 personnes ,on calcule que le coût social de congestion est de 50 % plus élevé que celui de la même artère empruntée par 53 voitures particulières et aucun autobus, les taux de saturation étant néanmoins égaux dans les deux cas.

De tels coûts peuvent paraître élevés. Il faut, cependant, remarquer que la valeur du temps retenue (8 F de l'heure) est faible : elle ne correspond pas aux déplacements d'affaires par exemple. C'est ainsi que deux auteurs anglais, J.C. TANNER (**réf. 4**) et G. ROTH (**réf. 5**) ont retenu des valeurs du temps plus élevées, respectivement 200 pence/heure et 226 pence/heure (11 F et 13 F/heure environ) et ont obtenu comme valeurs du coût marginal social de congestion à 9 mille/heure (15 km/heure environ) 1,20 F et 1,40 F par km.

Pour se rendre compte, d'une manière concrète, de l'importance du coût de congestion engendré par un véhicule aux différentes heures de la journée et selon les différentes artères, il faudrait disposer de données précises sur les fluctuations du taux de saturation de la voirie dans les agglomérations françaises. Rappelons les quelques résultats donnés au chapitre I, section II, § 4) : Dans la Région Parisienne, il semble que des taux supérieurs à 0,7 ou 0,8 soient fréquemment atteints au cours de la journée sur les principales artères. On peut en outre affirmer que dans la plupart des centres urbains des agglomérations françaises, l'état d'encombrement de la voirie aux heures de pointe indique que des taux de saturation proches de 1 y sont alors atteints.

Coûts marginaux sociaux de congestion provoquée par une voiture particulière sur une artère non saturée, en 1965

Taux de saturation de l'artère $\frac{\text{débit}}{\text{capacité}}$	Vitesse moyenne approximative des V.P. correspondante (1)	Coût marginal social d'une voiture particulière, par km, sur une ARTERE EMPRUNTEE EXCLUSIVEMENT PAR des V.P. (2)
0 à 0,4	35 à 50 km/h	environ 0 F
0,6	30 km/h	» 0,15 F
0,8	20 km/h	» 0,50 F
1	15 km/h	» 1 F

Sur une artère empruntée conjointement par des voitures particulières et des autobus : les valeurs précédentes du coût marginal social sont à multiplier par les coefficients suivants (3)

Nombre de passagers dans chaque autobus	rapport : $\frac{\text{débit des autobus}}{\text{débit des voitures}}$			
	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{10}$
40	1,2	1,3	1,7	2,3
60	1,2	1,5	2,2	3
80	1,3	1,7	2,6	3,8

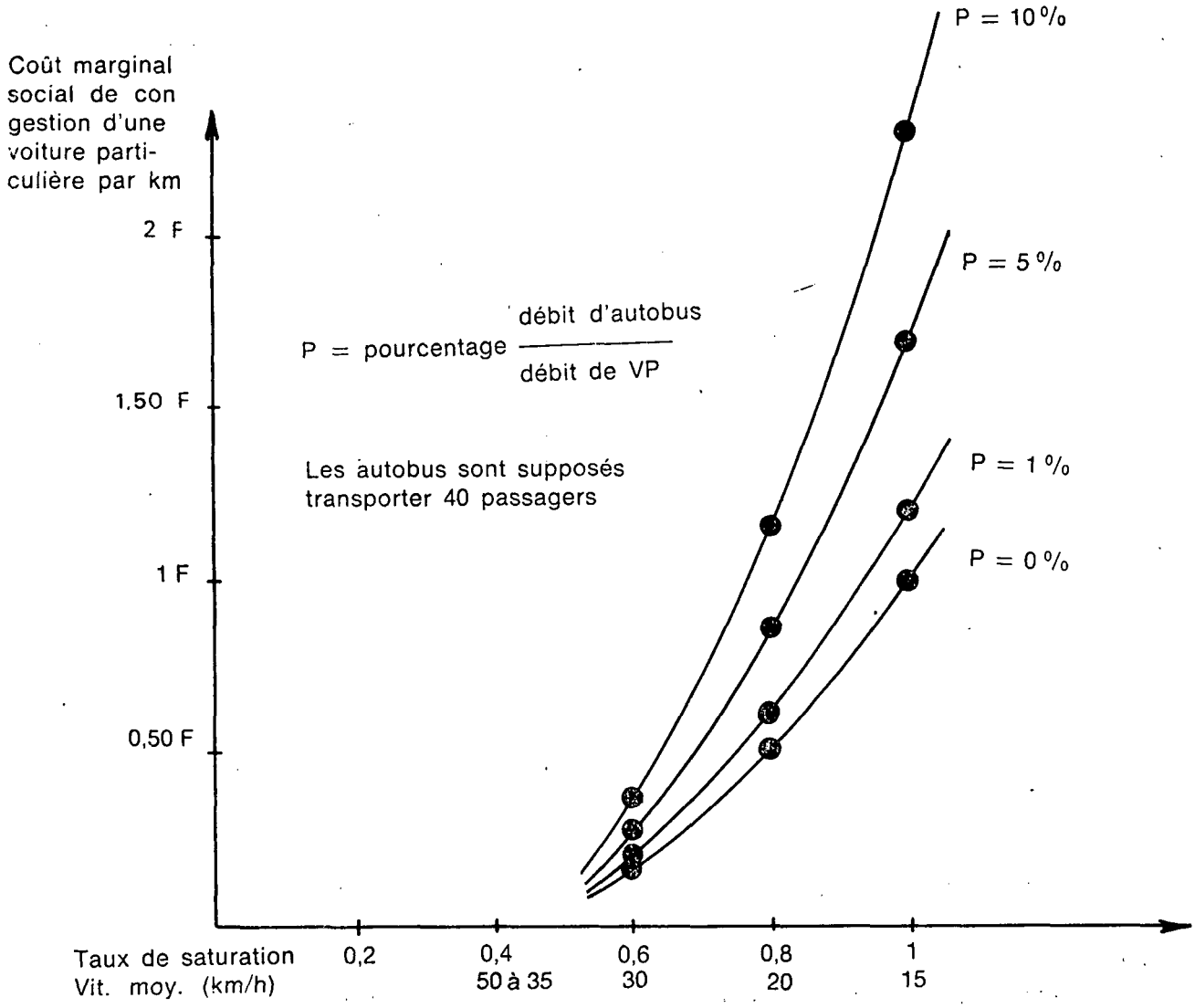
(1) Tient compte des ralentissements et arrêts aux carrefours.

(2) La valeur du temps est comptée à 8 F/h par véhicule, ce qu icorrespond à 6 F/h par personne et à un taux d'occupation de 1,3.

(3) Ces cœfficients sont valables lorsque la valeur du temps d'un usager de l'autobus est égale aux 2/3 de celle d'un usager de voiture particulière (par exemple 4 Fh/eure et 6 F/heure). Leur calcul ne prend en compte que les pertes de temps des usagers des autobus, qui sont supposées égales à celles des usagers des voitures particulières.

COUT MARGINAL SOCIAL DE CONGESTION PROVOQUE PAR UNE VOITURE PARTICULIERE SUR UNE ARTERE NON SATURÉE

valeur du temps égale à :
6 F/h pour les usagers de l'automobile
4 F/h pour les usagers de l'autobus



Il est important de rappeler, en concluant, que le coût de congestion peut être notablement diminué par un bon aménagement de la circulation urbaine capable d'accroître les débits : institution de sens uniques, coordination des feux, intervention d'agents aux points critiques, etc. A défaut qu'il soit réalisé il serait anormal d'imputer aux usagers les coûts marginaux élevés qui en résulteraient.

COUTS DE CONGESTION PROVOQUÉS PAR LES USAGERS DE L'AUTOBUS COMPARAISON AVEC CEUX DE LA VOITURE PARTICULIÈRE.

Sur la base d'un cœfficient d'équivalence de l'autobus égal à 3, chacun des usagers d'un autobus qui en contient un nombre n provoque un coût marginal social de congestion égal à celui d'une voiture particulière multiplié par $\frac{3}{n}$

Le tableau suivant donne les coûts qui en résultent dans différents cas. Pour faciliter la comparaison, on a rappelé le coût de congestion provoqué par un usager de voiture particulière, calculé en supposant que le taux d'occupation de celle-ci était égal à 1,3.

Coûts marginaux sociaux de congestion provoqués par les usagers des voitures particulières et des autobus (par usager-km, en 1965)

Taux de saturation de l'artère	Usager de la voiture particulière (1)	Usager de l'autobus transportant			
		20 passagers	40 passagers	60 passagers	80 passagers
0 à 0,4	0 F	0 F	0 F	0 F	0 F
0,6	0,12 F	0,02 F	0,01 F	0,01 F	0,01 F
0,8	0,38 F	0,08 F	0,04 F	0,03 F	0,02 F
1	0,75 F	0,15 F	0,08 F	0,05 F	0,04 F

(1) Pour une artère empruntée par un nombre négligeable d'autobus.

Dans le calcul de ce tableau, le coût marginal social par usager a été calculé en divisant le coût marginal social de l'autobus par le nombre de ses passagers. Mais dans certains cas, d'autres solutions sont possibles, et l'on peut transposer au coût de congestion les observations faites (voir section IV, § 3) au sujet de l'imputation aux usagers des coûts de fonctionnement des véhicules.

Ces résultats font ressortir la supériorité du transport en autobus au point de vue de la gêne à la circulation générale, dès lors que les taux de remplissage sont suffisants ; rappelons que le chiffre de 20 passagers par autobus est l'ordre de grandeur de la moyenne sur l'ensemble de la journée.

2) COUT DE LA GENE DUE AU STATIONNEMENT SUR LA VOIE PUBLIQUE.

Sans parler des préjudices d'ordre esthétiques, de la gêne aux piétons, etc., le stationnement des véhicules sur la voie publique gêne la circulation et on peut calculer le coût marginal social correspondant. Il faut à cet égard considérer deux cas : celui du stationnement d'un véhicule isolé bloquant une file de circulation (1) et celui des manœuvres de stationnement.

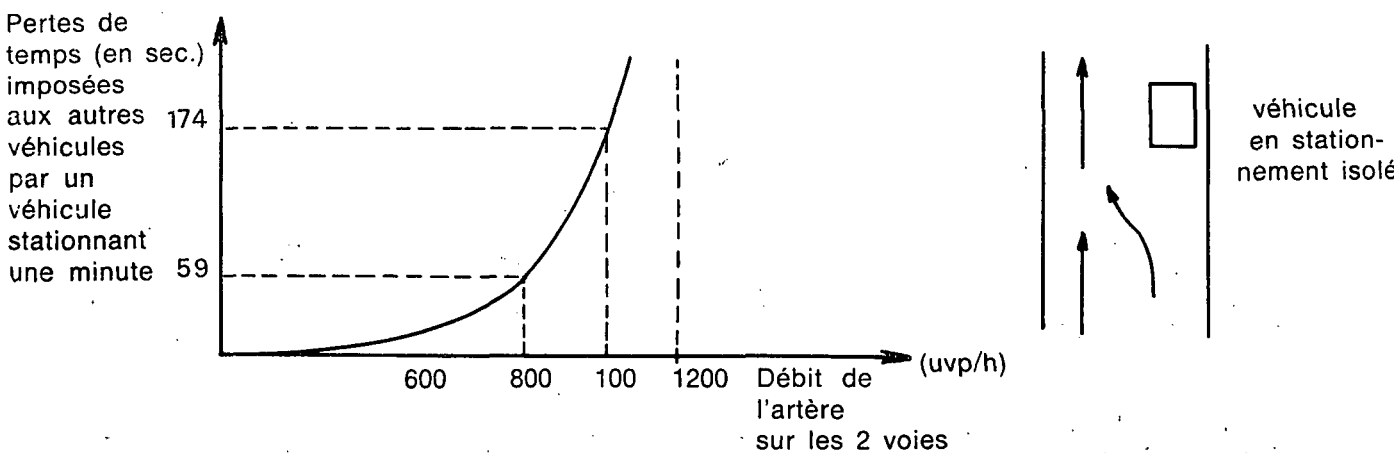
GENE DUE AU STATIONNEMENT ISOLÉ

C'est le cas des véhicules en stationnement qui, par leur présence, gênent la circulation générale en supprimant une voie qui lui est normalement affectée : véhicules en stationnement interdit, en double file, en livraison, etc. Certains modèles permettent de calculer la perte de temps qu'ils infligent aux autres véhicules.

Un modèle simplifié étudié à l'Institut de Recherche des Transports (**réf. 40**), valable pour une chaussée à 2 voies de même sens et lorsqu'on est éloigné d'un carrefour, permet de calculer les retards subis par les véhicules de la file de droite pour s'insérer dans la file de gauche, du fait du bloquage de la voie de droite. Moyennant certaines hypothèses, notamment celle que l'arrivée des véhicules suit la loi de POISSON, on a pu tracer la courbe ci-après.

Lorsque la circulation sur l'artère est intense, par exemple de 1.000 véhicules/heure, on voit qu'une minute de stationnement d'un véhicule isolé fait perdre à la collectivité près de 3 minutes. Si l'on prend une valeur du temps égale à 8 F/heure par véhicule, le coût de la gêne correspondante est alors de 24 F par heure de stationnement.

COUT SOCIAL DU STATIONNEMENT ISOLÉ SUR UNE ARTERE A DEUX VOIES, A SENS UNIQUE



(1) Et non bloquant toute l'artère ; ce dernier cas a évidemment des conséquences encore plus lourdes.

GENE DUE AUX MANŒUVRES DE STATIONNEMENT

Des mesures expérimentales effectuées aux U.S.A. **(réf. 41)** ont montré que les temps moyens de manœuvre s'élèvent environ à :

12 secondes pour le stationnement en épi

32 secondes pour le stationnement parallèle au trottoir.

En reprenant les hypothèses du modèle utilisé précédemment et en supposant que la manœuvre bloque une voie de circulation, on peut calculer le coût correspondant ; il est de l'ordre de 0,20 F pour le stationnement en parallèle et un trafic de 1.000 véhicules/heure sur l'artère ; en heure de pointe, les trafics sont souvent bien supérieurs, et le coût correspondant bien plus élevé.

Cette approche **ne tient pas compte du temps perdu pour la recherche d'une place de stationnement.** Certes on peut estimer qu'une taxation correcte du stationnement qui adapte la demande à l'offre réduirait ces coûts au minimum. Mais, dans la situation actuelle, les temps de recherche peuvent être très élevés et dépasser une dizaine de minutes, causant ainsi une gêne importante à la circulation.

En conclusion, on notera l'importance que peuvent prendre les coûts dus au stationnement. On devra cependant se demander si la solution ne réside pas, plus que dans l'imputation de tels coûts, en l'application d'une réglementation efficace.

3) COUTS DE CONGESTION DANS LES TRANSPORTS FERRÉS

On a noté (section V, § 2) qu'un usager marginal dans le métro pouvait, à défaut d'investissement augmentant suffisamment la capacité, entraîner un coût marginal social de congestion.

En effet, à infrastructure donnée, un usager supplémentaire ralentit et rend plus désagréable la marche dans les couloirs, peut entraîner une plus longue file d'attente au portillon, provoque enfin, ce qui est le plus pénible, un plus grand tassement dans les voitures.

On a pu aussi observer qu'à un certain degré, l'accroissement du nombre de voyageurs admis sur les quais entraîne une augmentation des temps d'arrêt des rames et dérègle la marche des trains ; on aboutit ainsi à une perte non négligeable de capacité, génératrice de nouvelles attentes.

On ne saurait trop insister sur l'inconfort des conditions actuelles de transport dans le métro, dues à une trop grande surcharge. D'après plusieurs enquêtes récentes, elles conduisent à un véritable traumatisme, qui se traduit en particulier par l'irritation et l'agressivité de certains voyageurs. Bien qu'elles ne soient pas chiffrées, la gravité de ces conséquences n'est pas moins évidente.

Sur le plan théorique, ce qui vient d'être dit s'applique — mutatis mutandis — à tous les transports en site propre, et en particulier aux lignes de banlieue de la S.N.C.F. Mais la situation de fait y est moins grave.

IX. — LE BRUIT.

On dispose en France des études du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (C.S.T.B.) sur le niveau de bruit produit par la circulation sur les autoroutes (**réf. 42** et **43**). Elles permettent de calculer approximativement ce niveau en un point voisin de la chaussée, en fonction du trafic.

Quant à la gêne causée par le bruit aux habitants riverains, elle a été analysée grâce à des enquêtes auprès de ceux-ci. Elles ont conduit à évaluer à 60 décibels (A) le niveau sonore maximum, mesuré à l'extérieur des façades, supportable pour les personnes habitant dans les immeubles riverains.

Il paraît cependant difficile d'évaluer cette gêne en termes économiques.

Une méthode qui serait basée sur l'analyse des comportements des ménages en matière de choix d'un logement, ou le choix d'un mode de protection correspondant à une certaine dépense, permettrait mal d'appréhender le problème. En effet, on observe que les « victimes » du bruit sont souvent inconscientes de la gêne qu'elles supportent ou qu'il existe des phénomènes d'accoutumance ou d'adaptation au bruit. Ainsi certains parents ont cru résoudre le problème en plaçant la chambre des enfants du côté des nuisances et la leur du côté opposé ; or on a constaté dans certains cas que les effets à long terme sur la santé physique et mentale des jeunes pouvaient ne pas être négligeables. Il est bien certain que ces éléments ne sont généralement pas pris en compte dans les comportements.

Pour chiffrer un ordre de grandeur de la nuisance, une autre méthode pourrait consister :

— à supposer qu'au-delà de 60 décibels (A), le bruit n'est plus normalement supporté par les riverains s'il n'y a pas d'isolation suffisante ;

— à évaluer dans ce cas la gêne par le coût de l'isolation phonique permettant d'abaisser le bruit dans les appartements des riverains jusqu'à un niveau sonore acceptable : d'après les études du C.S.T.B. il apparaît souhaitable que ce niveau ne dépasse pas 45 décibels (A) dans les appartements.

Cette méthode nécessiterait une recherche sur le coût des modes de protection phonique des logements. Par ailleurs, elle ne permettrait pas d'appréhender la gêne causée à **l'extérieur** des habitations : sur les trottoirs, dans les espaces verts, sur les aires de jeux pour enfants, etc.

Une taxation liée aux nuisances phoniques et correctement imputée serait sans aucun doute très utile, dans la mesure où elle inciterait les constructeurs d'automobiles à réduire le bruit à sa source même. Elle n'excluerait d'ailleurs pas des mesures réglementaires, portant sur les véhicules, sur les modalités de l'urbanisation au voisinage des voies urbaines à grande circulation et sur le mode de construction des immeubles riverains.

X. — LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE.

La gêne due à la pollution de l'atmosphère urbaine présente, à mains égards, des caractéristiques assez voisines de celle due au bruit, en ce qui concerne par exemple les effets à long terme sur la santé des citadins.

Des mesures ont été effectuées dans certaines villes sur la composition en gaz toxiques de l'atmosphère (Los Angelès, San Francisco, Paris...). Il faut noter que les industries et les foyers domestiques participent également à la pollution générale. Il est donc très difficile d'apprécier la part de gêne à imputer à l'automobile, d'autant que les degrés de nocivité des différents gaz et fumées sont très variables et mal connus ; on sait cependant que les gaz d'échappement des voitures se maintiennent au voisinage immédiat de la rue dans laquelle ils ont été émis.

Les statistique de la Sécurité Sociale, portant sur les maladies respiratoires, en fonction de la densité d'habitat, permettent de cerner globalement un des aspects de la question. A Los Angeles, on a aussi étudié les effets de l'air pollué sur les yeux (irritation occulaire) et sur les végétaux (cultures maraîchères).

On voit mal sur quelles bases reposerait une évaluation économique de la gêne imputable à l'automobile. Si l'on essaie de transposer le raisonnement proposé pour les nuisances phoniques, il serait nécessaire de connaître :

— des normes exprimant une teneur de l'air en gaz polluants à ne pas dépasser pour que la gêne reste acceptable ;

— le coût de protection, là où elle est nécessaire.

Actuellement, les seuls modes de protection sont des appareils placés sur le véhicule, comme ceux mentionnés ci-dessus. Il en existe différents types (postcombustion catalytique, flamme directe, etc.). Leur efficacité n'est pas totale. Leur prix d'achat varie de 30 à 90 F environ, auquel il faut ajouter un coût annuel d'entretien de 15 à 50 F.

L'Etat de Californie semble s'être engagé dans cette voie. Des normes de pollution maximale y ont été élaborées en 1959 (dont il n'est pas certain qu'elles soient transposables en France). Une loi de 1960 y a créé un « Conseil de la Pollution par les véhicules à moteurs » chargé d'établir des critères d'homologation de dispositifs antipolluants, dont la pose sur les véhicules serait ensuite rendue obligatoire.

XI. — RÉCAPITULATION DES COUTS ET CONCLUSIONS.

Dans ce chapitre, ont été successivement examinés d'une part les coûts d'investissement, d'autre part les coûts relatifs au fonctionnement du système de transport.

Quant à ceux-ci, il est possible de définir, pour le déplacement d'un usager par un mode de transport donné, un **coût marginal pour la collectivité** qui comprend en principe :

1) le coût marginal d'utilisation de l'infrastructure :

2) le coût marginal de fonctionnement des véhicules. Dans le cas des véhicules individuels, il est égal au coût moyen de fonctionnement, hors taxes et charges fixes exclues ;

3) la valeur attachée au temps passé et à l'inconfort ressenti par l'usager ;

4) le coût des accidents ;

5) le coût marginal social de congestion, auquel on peut rattacher le coût de la gêne due au stationnement ;

6) les autres coûts sociaux : bruit, pollution atmosphérique, etc.

En ce qui concerne les transports sur les réseaux de voirie, les différentes catégories de coût, à l'exception des coûts sociaux externes, ont pu être évaluées. Le tableau ci-après récapitule les valeurs obtenues par usager-km, pour les autobus et les voitures particulières.

Il a cependant fallu parfois se contenter d'assimiler les coûts marginaux aux coûts moyens. On a noté au passage la difficulté de définir des coûts marginaux de fonctionnement des transports collectifs en heure de pointe, qui n'apparaissent pas toujours très supérieurs aux coûts moyens calculés sur l'ensemble de la journée. Il conviendrait d'ajouter à cette liste le coût des opérations terminales qui représente couramment une fraction importante des coûts supportés par les usagers : pour l'automobile, recherche du stationnement, stationnement lui-même, trajet à pied jusqu'à ou à partir de celui-ci ; pour les transports en commun, trajet à pied jusqu'à ou à partir de la station ou point d'arrêt, trajet dans les gares ou les couloirs, temps d'attente au départ et aux correspondances ; ceci sans que l'on puisse dire a priori pour quel mode de transport les coûts en résultant sont les moins importants.

Pour les transports ferrés, des coûts moyens et marginaux ont pu aussi être déterminés. Mais, sur une ligne saturée, la difficulté d'évaluer un coût marginal social à court terme a été tournée en remplaçant cette notion par celle de coût marginal à long terme. Notons que sur les lignes considérées actuellement comme saturées, les techniques nouvelles d'exploitation laissent néanmoins entrevoir la possibilité d'augmenter la capacité par accroissement des fréquences.

Récapitulation des coûts d'utilisation des transports sur voirie urbaine
par usager/kilomètre (1) en 1965

Eléments du coût marginal *pour la collectivité*		Heures creuses Taux de saturation inférieur à 0,4		Heures de pointe Taux de saturation presque égal à 1	
		Usager d'une voiture particulière (35 à 45 km/h)	Usager de l'autobus (20 à 25 km/h)	Usager d'une voiture particulière (15 km/h)	Usager de l'autobus (10 à 12 km/h)
Coûts supportés par les usagers ou les entreprises de transport	Coût marginal de fonctionnement hors taxes (2)	0,10 F pour la R8 Renault (3)	Variable selon le mode d'exploitation	0,12 F pour la R8 Renault (3)	0,10 F à 0,30 F (4)
	Temps passé (caclulé à 6 F/heure)	0,20 F	0,30 F (5)	0,53 F	0,60 F (5)
	Coût marginal des accidents (supposé égal ou coût moyen)	0,08 F (Région Parisienne) (6)	négligeable	0,08 F (Région Parisienne) (6)	négligeable
Coût marginal d'utilisation de la voirie (supposé égal au coût moyen)		0,03 F (7)	négligeable	0,03 F (7)	négligeable
Coût marginal social de congestion		négligeagle		0,75 F (plus si les autobus sont nombreux)	0,03 F à 0,10 F (selon le taux d'occupation)
Autres coûts sociaux (bruit, pollution atmosphérique)		Difficiles à évaluer			
Total des coûts évalués		0,41 F		1,51 F	0,73 F à 1 F
Pour les voitures particulières	Coûts marginaux non supportés par les usagers	0,03 F		0,78 F	
	Montant payé au titre de la surtaxe sur l'essence	0,05 F		0,09 F	

(1) Le taux d'occupation est prix égal à 1,3 pour les voitures particulières et de l'ordre de grandeur des taux d'occupation actuels pour les autobus.
(2) Les usagers de la voiture particulière supportent ce coût, qui est pour eux égal au coût moyen hors taxe, charges fixes exclues.
Dans le cas de l'autobus, il est supporté par l'entreprise de transport et l'usager paye le prix du tarif.
(3) Considérée comme véhicule moyen.
(4) Le coût d'un usager marginal d'heure de pointe serait du même ordre de grandeur que le coût moyen.
(5) Pour les autobus, il faudrait ajouter des éléments d'inconfort dont certains ont été évalués par l'I.A.U.R.P.
(6) Les usagers des voitures particulières supportent en principe le coût moyen, sous différentes formes.
(7) Différent selon les villes - ordre de grandeur moyen.

Récapitulation des coûts de fonctionnement des transports ferrés dans l'agglomération parisienne (1965-1969)

			S.N.C.F.	METRO		
				Moyenne	Exemple d'une ligne non saturée (1)	Exemple d'une ligne saturée (1)
Coûts moyens en 1965	par voyageur transporté		1,59 F	0,46 F		
	par place-km offerte		0,036 F	0,021 F		
	par usager-km		0,10 F	0,09 F		
Coûts marginaux en heure de pointe en 1969	à court terme	par usager			0,47 F	
		par usager-km			0,09 F	
	à long terme	par usager				1,98 F
		par usager-km				0,37 F

(1) Voir section V, § 2, les modalités selon lesquelles la ligne n° 3 a servi de support à ces calculs.

Sans doute **la plupart des valeurs de ces tableaux sont-elles entachées d'une forte imprécision. Elles seraient notamment insuffisantes pour chiffrer des mesures d'application.** Mais, valables en ordre de grandeur, elles permettent de tirer d'ores et déjà quelques conclusions :

— les coûts monétaires à la charge des usagers des voitures particulières (c'est-à-dire le coût de fonctionnement et celui des accidents) sont du **même ordre de grandeur** que ceux des entreprises de transport par autobus. On sait aussi que le tarif appliqué aux transports publics ne couvre pas toujours le coût moyen, mais que ce dernier est notablement augmenté dans les grandes villes du fait des encombrements.

— **le coût du temps passé** est le plus important parmi ceux ressentis par les usagers ;

— parmi les coûts non pris en charge par ceux-ci, le **coût social de congestion** peut atteindre des valeurs très élevées, qui ne sont pas compensées, et de loin, par les taxes actuelles sur l'essence, lesquelles ne sont guère supérieures aux dépenses d'utilisation des infrastructures (police, entretien, exploitation). De ce point de vue, la supériorité des transports par autobus est écrasante lorsque les artères sont saturées ou presque.

— **le coût marginal d'un usager du métro à l'heure de pointe** est sur une ligne non saturée, du même ordre de grandeur que le coût moyen ; il peut atteindre des valeurs beaucoup plus élevées sur les lignes saturées, où il n'est plus possible d'augmenter la fréquence des rames aux heures de pointe ni d'accroître la capacité sans nouveaux investissements d'infrastructure et où les conditions de transport des usagers sont particulièrement inconfortables.

CHAPITRE IV

L'Utilisation Optimale des Infrastructures

La tarification consiste à fixer les prix respectifs d'un ensemble de prestations. En matière de transports en commun, la tarification fixe le prix des titres de transport. Mais pour ce qui est des transports individuels, le mot tarification reçoit dans cette étude une acception très large. L'automobiliste, par exemple, supporte le coût d'un déplacement à des moments divers : sans même parler de l'achat de son véhicule, c'est lorsqu'il effectue des dépenses d'entretien, d'assurances, de réparations, lorsqu'il achète de l'essence, lorsqu'il paye un péage sur une autoroute ou une place de stationnement. Une partie de ces dépenses est constituée de taxes versées à l'Etat, à des collectivités locales ou à des concessionnaires et qui ne correspondent pas à une fourniture matérielle : impôt sur l'essence, péage, prix du stationnement, etc. C'est à la tarification de l'ensemble de ces prélèvements que l'on s'intéresse ici.

En l'état actuel des connaissances, il serait très ambitieux de prétendre traiter dans son ensemble le problème de la tarification des transports urbains, pour laquelle on peut se fixer des objectifs très divers et souvent contradictoires.

Dans cette étude, on s'est borné à envisager la tarification d'un point de vue particulier, qui est celui de l'utilisation optimale, au point de vue économique, des infrastructures de de transport existantes. L'importance d'un tel objectif est évidente, du fait notamment de la situation de congestion fréquente de ces infrastructures et des pertes économiques qu'elle engendre.

On exposera tout d'abord les fondements d'une telle tarification ; puis on précisera les bases de calcul et parfois l'ordre de grandeur des tarifs optimaux ; on examinera ensuite comment ceux-ci sont compatibles avec l'équilibre des budgets d'exploitation des transports en commun ; enfin, on jettera un aperçu sur les effets à en attendre, à court et à long terme.

I. — FONDEMENTS DE LA TARIFICATION DE L'USAGE DES INFRASTRUCTURES

L'énumération de plusieurs objectifs possibles pour la tarification sera suivie d'un examen de la portée des déductions de la théorie marginaliste.

1) LES OBJECTIFS POSSIBLES D'UNE TARIFICATION.

On se limitera ici à ceux qui ne débordent pas du secteur des transports.

— Un premier objectif serait la recherche de la recette maximum : l'Etat, les collectivités locales responsables des infrastructures ou les entreprises de transport concessionnaires se comporteraient comme des « monopoleurs » cherchant à réaliser le bénéfice le plus élevé possible.

— Un deuxième objectif répondrait au souci pour l'Etat, les collectivités, ou les concessionnaires recevant leurs directives, d'équilibrer par leurs recettes les dépenses nécessaires à l'utilisation des infrastructures, au fonctionnement des transports et même, si l'on en décide ainsi, aux investissements qu'appelle leur développement. Dans cette conception, les péages et tarifs doivent être fixés à un niveau permettant d'obtenir ce résultat. Mais comme ils ne peuvent être augmentés à volonté, du fait de la concurrence entre les modes de transport, l'obligation d'équilibre est une permanente et puissante incitation à une bonne gestion.

— On pourrait aussi imaginer que la tarification ne soit qu'une partie d'un système d'organisation plus général visant à assurer au mieux la coordination des différents intérêts en présence :

ceux de l'usager, qui arrête son comportement en recherchant la dépense ou le coût généralisé le plus faible ;

ceux de l'Etat, des collectivités locales ou des entreprises de transport, d'un côté bénéficiant des recettes provenant des usagers, de l'autre ayant à faire face à des dépenses de toute nature, qu'elles soient d'amortissement, d'exploitation ou d'investissement ;

ceux de la collectivité dont l'Etat, en tant que responsable de l'optimum collectif, cherche à satisfaire au moindre coût pour la collectivité les besoins de transport actuels et à faire en sorte que ceux qui sont prévisibles dans l'avenir soient également satisfaits en leur temps.

Dans cette optique globale, les péages, taxes et tarifs des différents modes de transport concourent à la fois à l'orientation de la demande et à celle de l'offre (décisions en matière d'investissements par exemple), et font partie d'un système dans lequel on ne fait abstraction a priori ni du poids du passé, ni des besoins futurs.

— Enfin, dans une conception plus restreinte que la précédente, on peut se centrer sur le rôle d'orientation de la demande que joue la tarification. Par l'influence qu'ils peuvent avoir sur le choix par les usagers du mode de transport, de l'heure de déplacement et de l'itinéraire, les tarifs sont fixés de telle sorte que le fonctionnement du système de transport existant dans l'agglomération soit assuré au moindre coût pour la collectivité.

Sans trancher entre ces différentes options, on s'est borné dans cette étude, conformément au but qui lui était assigné, à **définir les tarifs qui permettent la meilleure orientation de la demande à infrastructures données** ce qui correspond au dernier des quatre objectifs cités précédemment.

La théorie économique classique répond sans ambiguité à la question ainsi posée : sous réserve qu'un certain nombre de conditions sur l'environnement économique soient vérifiées, il convient de fixer le tarif au niveau du **coût marginal à court terme** ; celui-ci est la somme des coûts marginaux pour la collectivité définis comme ils l'ont été au chapitre III, section I, à infrastructures données et en excluant les coûts d'investissement (1). On le qualifiera dans ce qui suit de « tarif optimal ».

La théorie économique montre en effet que si le prix généralisé supporté par l'usager, prix supposé égal à l'avantage que retire l'usager « marginal » (2) de la décision de se déplacer, est égal au coût marginal à court terme pour la collectivité, le comportement des usagers conduit à l'allocation optimale des ressources, c'est-à-dire à l'utilisation optimale des infrastructures existantes.

Ce principe de tarification est, dans son essence, distinct de ceux fondés sur l'« équilibre budgétaire » ou sur l'« imputation des coûts de développement ». Ces derniers répondent à des objectifs différents et leurs mérites à d'autres égards ne sont pas en cause. Dans le domaine des transports urbains, des systèmes de tarification procédant de ces divers principes ne sont d'ailleurs pas, en fait, obligatoirement incompatibles, comme on le verra plus loin.

Enfin, les conséquences externes au secteur des transports que peut avoir une tarification, en particulier sur le développement urbain, la vie économique en général, ou ses implications sociales, sont aussi à examiner avant toute décision en la matière.

Ainsi on reproche souvent à une imputation correcte de tous les coûts de transport de défavoriser les usagers de faible revenu et de constituer en quelque sorte une « sélection par l'argent ». Avant de tenir compte d'une telle objection, il convient de préciser quelles sont les catégories de population concernées. Si, par exemple, on peut estimer qu'une mesure visant à augmenter la taxation des voitures serait néfaste pour les automobilistes de faible revenu, on doit aussi tenir compte des avantages qu'elle apporterait aux usagers des autobus qui appartiennent en moyenne à des catégories plus défavorisées, car les transports publics circuleraient alors plus vite et leur coût généralisé serait moindre.

---

(1) Ce coût marginal à court terme n'est vraisemblablement pas égal au coût marginal avec adaptation continue des investissements, dit coût marginal à long terme (voir sur ce point la note de bas de page du § « Coûts moyens et coûts marginaux » de la section I du chapitre III).

(2) Par usager « marginal », on entend ici le dernier auquel le prix pratiqué était accessible ou, si l'on préfère, le premier dont une très faible augmentation du prix modifierait le comportement.

Dans certains cas cependant, il pourra paraître justifié aux Pouvoirs Publics de déroger à l'imputation correcte au strict point de vue économique, par exemple, en accordant des réductions tarifaires à certaines catégories d'usagers, en subventionnant la desserte en transport en commun d'une urbanisation nouvelle, etc.

2) PORTÉE DE LA THÉORIE MARGINALISTE.

Il s'agit maintenant d'examiner si la théorie marginaliste classique est légitimement et pratiquement applicable pour calculer des « tarifs optimaux », au sens qui a été donné à ce terme.

Trois séries de considérations conduisent à limiter la portée des déductions que l'on peut en tirer :

— les conditions d'application de cette théorie ne sont pas entièrement vérifiées ;

— les difficultés techniques de perception obligent à s'écarter des tarifs optimaux ;
— la tarification n'est qu'un élément de l'organisation générale d'un système de transport.

Sur le premier point on remarquera tout d'abord qu'à maints égards, **il n'existe pas de véritable marché des transports urbains**. A localisation donnée des résidences et des lieux d'activité, certains usagers ont le choix entre plusieurs modes et différents itinéraires et d'autres non (qui sont dits parfois « captifs » d'un mode ou d'un itinéraire).

De plus, **les décisions quotidiennes que prennent les individus quant à leurs transports sont liées à d'autres plus fondamentales** et qu'ils ne remettent que rarement en cause (choix d'une résidence ou d'un lieu d'emploi, possession d'une automobile) ou qui sont prises par d'autres que par l'usager (c'est le cas notamment des horaires de travail). On peut donc estimer que certaines mesures d'incitation ou de réglementation doivent s'appliquer « en amont », c'est-à-dire au niveau de ces décisions qui gouvernent les autres, et de leurs responsables. On sait aussi que certains coûts sont insuffisamment ressentis par les usagers, comme le coût des accidents.

Le caractère optimal de l'environnement économique est également contestable.

C'est ainsi que le choix des investissements n'est pas nécessairement optimal, par exemple en ce qui concerne leur date de réalisation ; cette considération est d'autant plus importante qu'en matière de transport ils sont souvent très lourds financièrement, de très longue durée et de caractère discontinu. Mais ceci n'en rend que plus indispensable, indépendamment des décisions d'investissements, de prendre les mesures appropriées concernant l'exploitation.

Le second point, relatif aux **difficultés techniques obligeant à s'écarter des tarifs optimaux,** sera étudié au chapitre V, mais on peut penser que de toute façon, lors du passage à la pratique, il sera au moins nécessaire d'apporter des simplifications à un système « idéal », qui devrait être nuancé à l'infini.

Cependant, parfois, lorsque les distorsions ainsi introduites risquent d'être importantes, on peut en limiter les effets. Ainsi si la tarification d'un mode de transport est éloignée de l'optimum (par exemple trop faible) une distorsion comparable sur les modes concurrents peut éviter des choix anti-économiques.

Il convient de signaler dans ces considérations pratiques que l'usage du véhicule individuel implique deux besoins : circuler et stationner, et par conséquent deux équipements : la voie de circulation et l'aire de stationnement (ces deux besoins complémentaires peuvent d'ailleurs être concurrents sur les mêmes emplacements, comme dans le cas du stationnement le long du trottoir, qui limite la capacité offerte à la circulation). Il est donc logique d'envisager la tarification de l'usage de l'automobile comme la somme d'un péage de circulation et d'un péage de stationnement. Cependant, dans la mesure où, pour des raisons diverses, il n'apparaîtrait pas possible de fixer correctement le premier de ces éléments, le choix du second pourrait jouer un rôle général d'orientation : **la politique du stationnement serait alors un moyen de contrôler et d'orienter la politique de la circulation urbaine.**

En dernier lieu, on n'oubliera pas que la tarification s'intègre dans le système général d'organisation et d'exploitation des infrastructures des transports. Ceci a deux conséquences importantes :

La tarification ne peut être étudiée que dans le cadre de règles bien définies pour le fonctionnement du système de transport, et chercher à la rendre optimale n'aurait aucune signification si ces règles ne tendaient pas elles-mêmes à la meilleure efficacité du système. Il faut par exemple déterminer quelle part de la voie publique est réservée au stationnement, si les autobus circulent ou non sur des voies réservées, quels sont les tracés et la fréquence des lignes, si l'espace réservé au stationnement est ou non spécialisé (certains véhicules peuvent être privilégiés, comme le sont déjà les autobus à leurs arrêts). La définition de ces règles se situe « en amont » de l'étude de la tarification, mais a une grande influence sur elle, car le calcul des coûts marginaux et celui de l'équilibre optimal entre modes de transport en dépend. Par exemple, dans le cas du stationnement des véhicules de livraisons, la gêne qu'ils provoquent est très variable suivant l'heure et selon qu'ils sont obligés de stationner en double file ou qu'ils disposent d'emplacements réservés.

Des mesures réglementaires peuvent parfois être efficacement substituées à des mesures tarifaires ou les accompagner. Par exemple, limitation de la durée du stationnement, réglementation des horaires de livraison, aménagement des horaires de travail, etc.

Il serait donc nécessaire de passer en revue tous les moyens disponibles permettant d'utiliser au mieux les réseaux existants : aménagements des carrefours, régulation électronique de la circulation, réglementation du stationnement, bandes réservées aux autobus, fréquence et tracé des lignes, etc. Pour chacun d'eux, un bilan économique permettant d'en évaluer l'efficacité peut être fait.

Une vue aussi extensive n'entre pas dans l'objet de cette étude, mais il faut en souligner l'importance pour l'élaboration d'une doctrine globale, d'autant que certaines mesures dont la rentabilité serait démontrée pourraient entrer immédiatement en pratique (1).

Pour résumer, la tarification des transports urbains peut se proposer différents objectifs. La théorie marginaliste montre que c'est en faisant supporter à chaque usager le coût marginal à court terme pour la collectivité que l'on répond à l'un d'eux : l'orientation de la demande de telle sorte que les infrastructures de transport soient utilisées au mieux.

Ceci supposerait cependant que soient satisfaites certaines conditions qui ne sont pas entièrement vérifiées dans la pratique ; en outre, des difficultés techniques de perception obligent à s'écarter de ces tarifs optimaux, encore qu'on puisse y remédier pour partie par diverses mesures telles que l'orientation de la circulation automobile par une politique du stationnement ; enfin, il conviendrait d'examiner dans quelle mesure une tarification procédant de ce principe serait compatible avec cet autre objectif d'intérêt capital qu'est l'équilibre budgétaire des organismes de transport.

La connaissance des coûts marginaux n'en a pas moins un grand intérêt, car la tarification ne peut s'en écarter notablement sans qu'il en résulte des pertes économiques importantes.

II. — BASES D'ÉVALUATION DE TARIFS ÉGAUX AUX COUTS MARGINAUX.

Malgré les réserves émises précédemment, il a paru intéressant d'étudier en quoi pourrait consister pour les usagers une tarification au coût marginal. L'intérêt en est d'évaluer quelle différence existe entre celle-ci et la tarification actuelle de divers modes de transport, et par là de se faire une idée de l'importance du biais actuel des comportements par rapport à l'optimum théorique. Après une réflexion sur la formulation théorique de l'optimum, on envisagera les méthodes de calcul des tarifs optimaux. Puis on ébauchera l'application de ces méthodes aux infrastructures de voirie et aux transports en commun et on indiquera quelles conclusions générales s'en dégagent.

(1) Des expériences concrètes ont déjà été réalisées, comme la réservation de bandes de roulement aux autobus. On peut citer sur ce sujet l'étude du S.E.R.C. sur les bandes réservées aux autobus **(réf. 44).** On trouvera aussi en annexe X, une note faisant le point des expériences actuelles en matière d'aménagement des horaires de travail.

1) FORMULATION THÉORIQUE DE L'OPTIMUM.

Pour chaque tronçon élémentaire d'une infrastructure de transport, parcouru par des véhicules tous identiques, on peut définir à un instant donné :

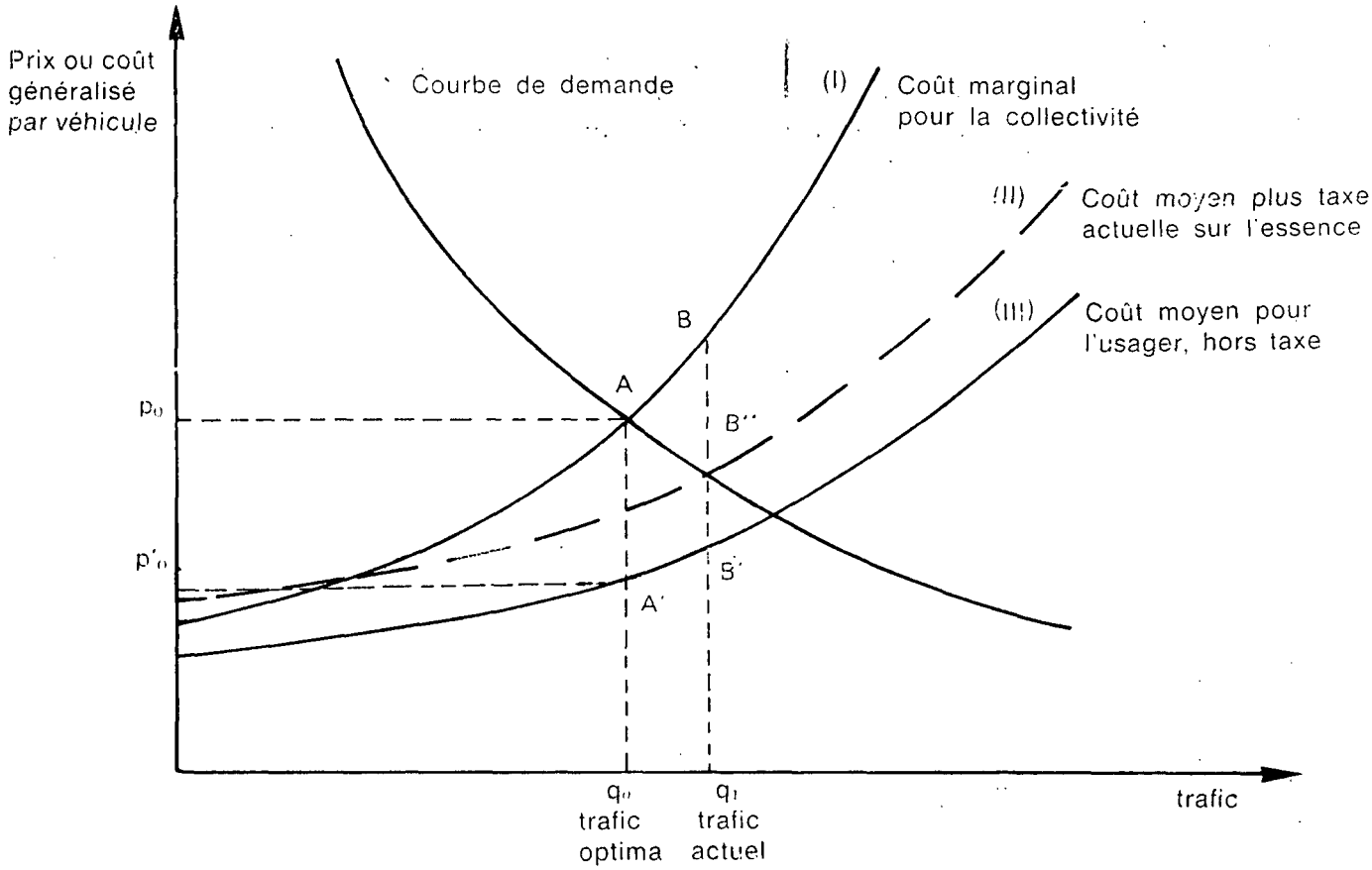
— une courbe de demande, donnant la relation entre le trafic et le coût généralisé pour l'usager ;

— une courbe du coût marginal pour la collectivité, par véhicule, en fonction du trafic (courbe I).

Le tarif et le trafic à l'optimum sont déterminés par l'intersection de ces deux courbes.

Sur la figure ci-après on a représenté le cas d'un tronçon de voirie emprunté par des voitures particulières. Le trafic optimal est q_0 et le prix généralisé à l'optimum est p_0.

DÉTERMINATION THÉORIQUE DES TARIFS ET TRAFICS OPTIMAUX



Le coût marginal pour la collectivité étant lui-même la somme de deux termes :

— le coût moyen généralisé pour l'usager, hors taxes, donné en fonction du trafic par la courbe III,

— les coûts marginaux non supportés par l'usager : coût marginal d'infrastructure (exploitation, police, entretien) et coût marginal social,

La taxe totale à appliquer théoriquement (sous forme de péage, taxe sur l'essence ou tout autre moyen) s'obtient en retranchant de p_0 le coût moyen p'_0 supporté par l'usager, taxes effectivement pratiquées exclues ; elle est donc représentée par la valeur du segment A A'.

Quant au comportement des automobilistes, il est régi par ce qu'ils ressentent en fait, c'est-à-dire par le coût généralisé moyen pour l'usager, taxes actuelles incluses (pour simplifier on ne considérera que la taxe sur l'essence, qui en est d'ailleurs l'essentiel). Ce coût est représenté par la courbe II, qui rencontre la courbe de demande en B" ; le trafic actuel est donc égal à q1. La part du coût marginal pour la collectivité non supportée par l'usager, dans la situation actuelle, est égale au segment BB".

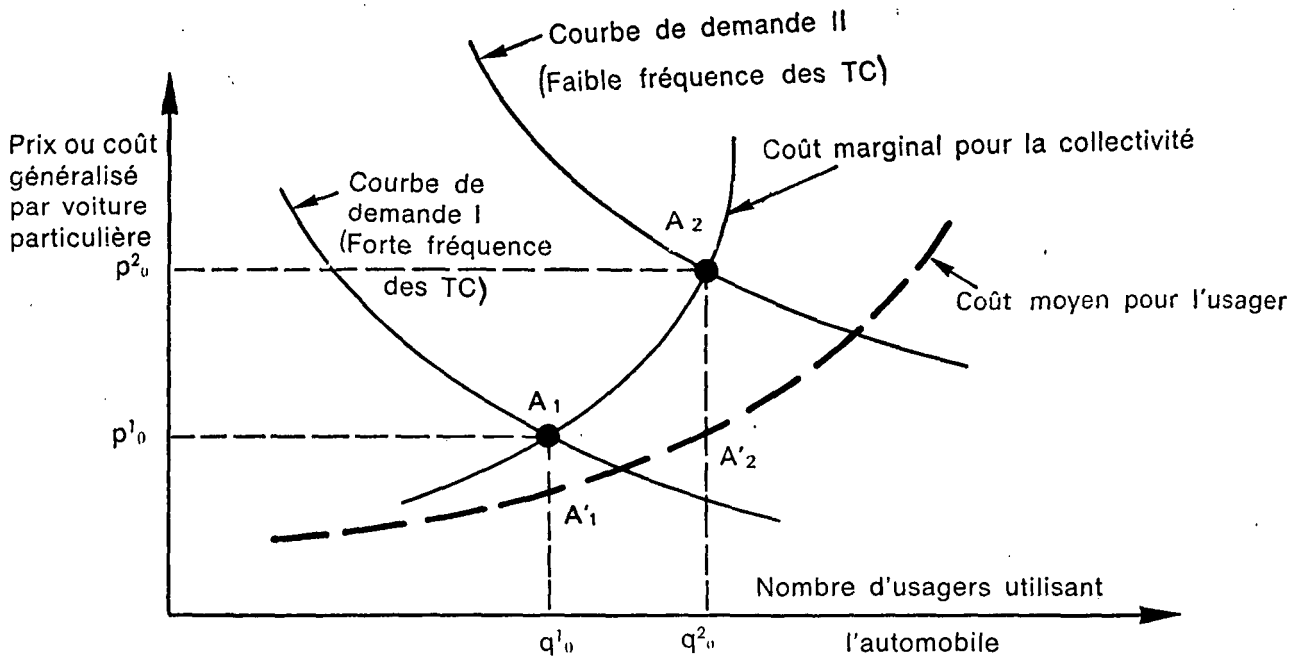
Les valeurs de BB' et de AA' sont différentes (en fait, BB' est supérieur à AA', puisque les coûts sociaux, qui en sont l'élément le plus important, croissent avec le trafic). On voit donc que la taxe à appliquer théoriquement ne doit pas être calculée à partir des coûts marginaux actuels, mais des coûts marginaux à l'optimum.

Un autre remarque très importante doit être faite : **la tarification est fortement dépendante de la qualité de service des modes concurrents ; en particulier celle des voitures privées dépend de celle des transports publics.**

Supposons que l'infrastructure de voirie considérée soit dans une grande ville et que la courbe de demande des voitures particulières exprime principalement des transferts d'usagers entre automobile et transports en commun, en fonction de la tarification supportée par les usagers de la voirie. Il est clair que la position de cette courbe de demande dépend de l'attractivité des transports publics comme substitut possible de la voiture particulière: pour un coût d'usage de la voirie donné, le nombre d'usagers de l'automobile sera d'autant plus faible que l'attractivité des transports publics est plus grande.

On peut par exemple, comme on l'a fait dans la figure ci-après, considérer que, toutes choses étant égales par ailleurs, cette attractivité est fonction de la fréquence. Le cas où la fréquence des transports en commun est élevée correspond à la courbe I, celui où elle est faible à la courbe II. Dans le premier cas, la taxe à appliquer théoriquement A1 A'1 est beaucoup plus faible que dans le deuxième cas où elle est représentée par A2 A'2.

INFLUENCE DE LA QUALITE DE SERVICE DES TRANSPORTS EN COMMUN SUR LA TARIFICATION DE L'AUTOMOBILE



Cette analyse montre que la **tarification dépend fortement du niveau de service offert par les solutions de transports alternatives.** Il convient donc, dans la recherche d'une organisation optimale, de déterminer au préalable quels sont les règles les meilleures à adopter en matières d'exploitation et de niveau de service des transports en commun. L'application d'une tarification optimale doit être conjuguée avec l'amélioration nécessaire de l'attractivité des transports publics.

2) APPROCHES POSSIBLES POUR LE CALCUL DES TARIFS OPTIMAUX.

Le calcul complet des tarifs et trafics optimaux sur chaque tronçon serait extrêmement complexe. En effet :

— la courbe de demande définie ci-dessus varie évidemment d'un tronçon à l'autre. Elle varie également en fonction de l'heure, par exemple du fait que cette courbe n'est pas la même pour les différents « motifs » de déplacement et que la répartition entre ceux-ci change selon les heures.

De plus, elle dépend du coût sur les infrastructures concurrentes, c'est-à-dire de leur trafic, de leur tarification, ainsi que des opérations complémentaires liées au déplacement, telles que le stationnement terminal.

— le coût d'usage (coût généralisé) qui conditionne la demande n'est pas seulement celui qui est défini à un instant donné.

Pour prendre une décision, un usager doit évidemment tenir compte de l'état d'encombrement de l'ensemble des infrastructures qu'il empruntera, qui influe sur leur coût d'utilisation et qui peut varier pendant toute la durée du déplacement.

— de même, la courbe d'offre dépend, pour un tronçon donné, des conditions d'exploitation de l'infrastructure : gêne due aux véhicules en stationnement, longueur et répartition des cycles de feux, etc...

C'est dire que le problème est particulièrement difficile à traiter lorsque l'on considère les réseaux de transport d'une agglomération entière, pour toutes les heures de la journée. Il faudrait pouvoir définir, pour chaque tronçon, tous les éléments qu'on vient de décrire, et ensuite les agréger sur l'ensemble des réseaux.

Même si l'on disposait de toutes les données nécessaires, la poursuite des calculs exigerait donc d'importantes simplifications.

Mais, de plus, on a vu dans les chapitres précédents la grande insuffisance des connaissances actuelles, notamment en ce qui concerne **les lois de la demande. Lorsque ces dernières sont connues, ce n'est pas pour chaque tronçon, mais par grandes catégories** regroupant des couples origine-destination, des motifs de déplacement, etc... **Par contre les courbes d'offre relatives au réseau de voirie, déduites par exemple des courbes vitesse-débit, ne sont aisées à formuler que pour un tronçon isolé** de voie, de capacité et caractéristiques bien définies.

Ces difficultés conduisent à proposer deux approches simplifiées capables d'aboutir à la détermination des tarifs optimaux :

— **Une approche sommaire,** où l'on ne tiendrait compte qu'approximativement des lois de la demande, mais pouvant de ce fait porter sur une zone étendue. Elle serait basée sur l'analyse aussi fouillée que possible des coûts marginaux, à partir desquels on essaierait de déduire un ordre de grandeur des tarifs à appliquer en se fixant par exemple quelques objectifs simples en matière de qualité de service ; par exemple que les trafics des voitures particulières soient tels que la voirie ne soit jamais saturée ;

— **l'étude complète de cas types.** On se donne par exemple un axe de transport entre la banlieue et le centre d'une ville, où coexistent deux modes concurrents et sur lequel on étudie les migrations domicile-travail. Les courbes d'offre sont connues, et les lois de la demande s'expriment par un modèle de répartition entre modes de transport.

On cherche alors à déterminer le système de trafics et de tarifs sur chaque mode tel que ces derniers soient égaux aux coûts marginaux (ou l'on cherche à minimiser les coûts pour la collectivité, ce qui revient au même).

Le modèle HERMES, décrit au chapitre II, section II, pourrait constituer l'outil d'une telle étude qui nécessiterait la collecte de données plus précises.

Dans la pratique, si de telles approches sont nécessaires pour fixer préalablement des ordres de grandeur des mesures à prendre et prévoir leurs conséquences possibles, **on devra sans doute ensuite procéder de manière très empirique.** Comme on l'a fait à Londres pour la tarification du stationnement, les tarifs devront être progressivement mis en place, et adaptés par les responsables de la circulation et des transports, de façon à être à chaque instant en rapport avec la demande et avec la capacité des infrastructures.

3) LA TARIFICATION DE LA CIRCULATION SUR LES INFRASTRUCTURES DE VOIRIE.

L'étude des coûts marginaux effectués au chapitre III a montré qu'en zone urbaine, c'est **le coût marginal social de congestion** qui est prépondérant dans les zones encombrées, et c'est d'ailleurs pratiquement le seul des coûts sociaux dont on puisse calculer l'ordre de grandeur.

Certes la tarification devrait comprendre en outre

— les coûts marginaux d'infrastructure, qu'on pourrait en première approximation, assimiler aux coûts moyens, mais dont la valeur est relativement faible (0,01 F à 0,04 F par véhicule-km) ;

— la différence entre le coût marginal des accidents et leur coût moyen déjà supporté ; mais on n'en dispose pas, ne sachant pas calculer le premier terme.

— les autres coûts marginaux sociaux (pollution, nuisances phoniques), qui ne sont pas appréhendés.

L'omission de ces termes sera admissible, en première approximation, lorsque le taux de saturation est élevé, surtout si l'on considère le faible degré de précision avec lequel le coût de congestion est connu.

On rappelle ici les résultats obtenus au chapitre III, section VIII, § 1, en les comparant avec la valeur de la taxe sur l'essence.

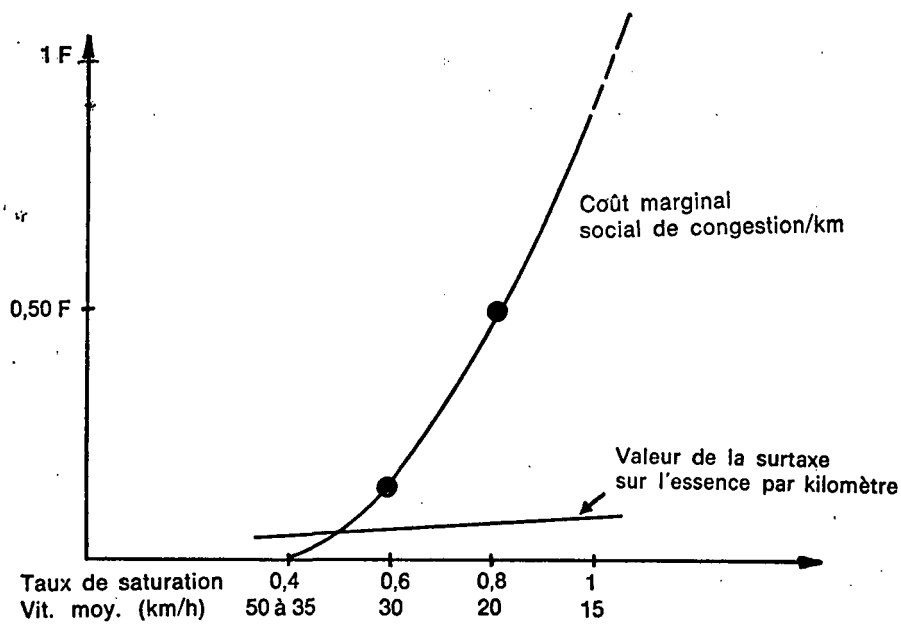
Comparaison du coût marginal social de congestion provoqué par une voiture particulière avec la taxe sur l'essence qu'elle supporte en 1964-1965

Taux de saturation	correspondante Vitesse	Coût marginal social de congestion par véhicule-km (1)	Valeur de la surtaxe sur l'essence au km pour un véhicule moyen (2)
0 à 04	35 à 50 km/h	0 F	0,055 F
0,6	30 km/h	0,15 F	0,067 F
0,8	20 km/h	0,50 F	0,085 F
1	15 km/h	1 F	0,095 F
Supérieur à 1 (sursaturation)	Inférieur à 15 km/h	Supérieur à 1 F	

(1) Calculé à partir d'une valeur du temps égale à 8 F/h par véhicule et dans l'hypothèse où aucun autobus ne circule sur l'artère.
(2) Voir chapitre III, § IV - 1.

Ce qu'exprime autrement le graphique ci-après :

COMPARAISON DU COUT DE CONGESTION ET DE LA TAXE SUR L'ESSENCE



Si nous rappelons que dans les grandes villes on constate que les taux de saturation de la voirie sont, sur les principales artères centrales, supérieurs à 0,8 ou à 1 en période de pointe et supérieurs à 0,6 pour une grande part des heures creuses de la matinée et de l'après-midi, il faut en conclure que les **taxes que l'on devrait théoriquement appliquer sont, dans la plupart des cas, et notamment aux heures de pointe, largement supérieures à la taxe actuelle sur l'essence.**

La valeur optimale de la taxe à appliquer (quelle que soit la forme de perception utilisée) est cependant difficile à déterminer puisque son niveau dépend de la capacité offerte et de la courbe de demande. L'étude fine d'un cas concret permettrait d'éclaircir ce point lorsqu'auront été déterminées, pour des taux de saturation supérieurs à 1, des courbes de coût plus précises que celles dont on dispose actuellement.

On peut cependant penser qu'il est a priori souhaitable, dans les zones actuellement encombrées des grandes agglomérations, que le réseau de voirie fonctionne de façon telle que le trafic n'excède pas la capacité, c'est-à-dire que le taux de saturation reste un peu inférieur à 1.

Ceci n'exclue pas quelques exceptions. Il se peut que l'optimum soit obtenu parfois avec une courte période de sursaturation (1).

4) LA TARIFICATION DU STATIONNEMENT.

La tarification du stationnement peut s'envisager dans deux optiques :

— il peut s'agir simplement d'imputer les coûts de stationnement en tant que tels (entretien et fonctionnement des parkings, coûts sociaux du stationnement sur la voirie...) ;

— elle peut aussi être un moyen de taxer plus ou moins imparfaitement la circulation, en l'absence de système plus efficace ; c'est ce que l'on fait dans certaines villes étrangères.

En effet, les déplacements les plus coûteux pour la collectivité, c'est-à-dire ceux effectués en heure de pointe, sont en majorité constitués de déplacements domicile-travail pour lesquels la durée de stationnement est longue, donc susceptible d'un tarif élevé.

(1) On peut aussi imaginer que, dans une petite ville, il vaut mieux que les automobilistes subissent la congestion pendant 1/4 d'heure, plutôt que d'imposer à un certain nombre d'entre eux d'utiliser des transports publics mal commodes et s'arrêtant assez loin de leur domicile et de leur lieu de travail.

Une bonne organisation des transports suppose tout d'abord que le nombre de places de stationnement, qu'il s'agisse des emplacements sur la voie publique ou des parcs publics ou privés, soit cohérent avec la capacité des voies de circulation.

On peut à cet égard, suivant les circonstances et les quartiers, jouer de plusieurs moyens:

— l'affectation à l'un ou l'autre de ces usages des parties de la voirie pouvant servir soit à la circulation, soit au stationnement (file du long du trottoir) ;

— la création de places de stationnement supplémentaires (construction de parcs publics, obligation faite en ce sens aux constructeurs privés) (1) ;

— l'interdiction ou la limitation de la création de places de stationnement nouvelles, ainsi qu'il a été envisagé pour le centre de Londres (1) ;

— des règles d'exploitation, par exemple pour limiter la durée du stationnement.

En outre, si l'on veut que les places offertes remplissent véritablement leur rôle, il convient de leur appliquer un « péage de rareté » destiné à adapter au mieux la demande à l'offre et calculé pour éviter et la sous-utilisation, et la saturation. C'est ainsi que procèdent les autorités londoniennes en fixant les tarifs des parcmètres du centre de Londres de telle sorte que 15 % des places soient toujours libres ; grâce à quoi sont rendus négligeables certains coûts qu'engendre le stationnement pour la collectivité, tels le temps perdu à la recherche d'une place ou la gêne provoquée par les stationnements en double file ou en zone interdite.

5) LA TARIFICATION DES TRANSPORTS EN COMMUN.

Si l'on se reporte au calcul des coûts marginaux effectué au chapitre III, encore qu'il ne repose que sur les seules études, très partielles, effectuées à la R.A.T.P., on peut en tirer les premières conclusions suivantes, valables pour les réseaux d'autobus et les lignes de métro non saturées :

Aux heures de pointe, il semble que le coût marginal (calculé pour un usager moyen) soit du même ordre de grandeur que le coût moyen (calculé sur l'ensemble de la journée). Cela signifierait que si les tarifs (supposés égaux pour tous les usagers) étaient fixés de telle sorte que l'équilibre du budget d'exploitation de l'entreprise soit juste réalisé, ils seraient voisins du coût marginal d'heure de pointe.

(1) Dans certains cas, il faut construire des parcs de stationnement ; dans d'autres la construction de parcs risque de congestionner encore davantage le réseau.

Cette condition n'est pas réalisée à la R.A.T.P., qui est d'ailleurs en déficit depuis plusieurs années. On s'en écarte probablement peu dans ceux des réseaux des villes de province dont le déficit est négligeable et dont les tarifs sont peu différenciés pour les diverses catégories d'usagers (1). Mais on notera que la réalisation d'un équilibre optimal entre modes devrait permettre d'importantes économies sur les coûts d'exploitation des autobus, du fait de la diminution des encombrements.

Aux heures creuses, si l'on appliquait en toute rigueur le raisonnement marginaliste, la tarification devrait être nulle ou très faible. On pourra objecter que si la capacité des véhicules est alors sous-utilisée, c'est qu'elle n'est pas adaptée, et qu'il vaudrait mieux, par exemple, mettre en service des minibus. Ce serait oublier que le matériel, de capacité standard, est dimensionné pour l'heure de pointe et qu'il y a tout intérêt à l'utiliser au maximum ; on a d'ailleurs noté que la taille des autobus a peu d'influence sur le coût au véhicule-km, à mode d'exploitation identique.

Mais on pourrait aussi considérer que le maintien d'un service assez fréquent en heure creuse, pour une clientèle peu importante, coûte cher à la collectivité et que ce coût devrait être supporté par les usagers. Cependant on ne doit pas oublier

— qu'en heure creuse, le transport par autobus a surtout un caractère de service public et un rôle social, au bénéfice des personnes ne disposant pas de voiture particulière ; dès lors la tarification n'a plus le même rôle économique, d'autant qu'il ne se pose pas de problème de congestion. La question est, avant tout, de savoir quelle qualité de service on doit offrir à ces usagers, et elle est indépendante de la tarification ;

— qu'il peut être intéressant pour certains usagers d'heure de pointe de savoir qu'en cas de besoin ils peuvent disposer d'un service de bonne qualité en dehors de leur horaire habituel.

Ces considérations montrent que la fixation des tarifs d'heure creuse est particulièrement délicate et ne peut guère reposer sur une analyse de type marginaliste. Du point de vue de l'utilisation optimale des infrastructures, cela n'a pas une grande importance, car il ne se pose en général pas de problèmes de congestion des réseaux à ces heures.

L'objectif essentiel d'une tarification différenciée selon les heures serait d'inciter des usagers se déplaçant actuellement aux périodes de pointe, à choisir des heures moins chargées. Mais il existe de nombreux usagers captifs d'un horaire, en premier lieu la plupart des travailleurs pour leurs déplacements domicile-travail. Pour ces derniers, une telle tarification n'aurait pas grand sens et se heurterait d'ailleurs à des considérations d'ordre social. On peut penser que seule une action directe auprès des entreprises, s'appuyant éventuellement sur des incitations tarifaires, permettrait d'ob-tenir un étalement des horaires de travail.

(1) Notons en particulier que les réductions « sociales » s'appliquent surtout à des usagers d'heure de pointe (travailleurs, écoliers, etc.). Cette situation va à l'encontre du principe d'une tarification au coût marginal, mais peut paraître justifiée pour d'autres raisons.

CAS DES LIGNES DE METRO SATUREES

On rappelle que sur les lignes saturées, le coût marginal **aux heures de pointe** est beaucoup plus élevé que le coût moyen, puisque la R.A.T.P. les évalue approximativement ainsi :

	coût marginal	**coût moyen**
par usager	1,98 F	0,46 F
par usager-km	0,37 F	0,09 F

Les tarifs actuels sont déjà inférieurs au coût moyen. Par rapport au coût marginal, leur insuffisance, de l'ordre de 0,30 F par km, est à comparer à celle des voitures particulières aux heures de pointe dans les zones encombrées, qui égale ou dépasse 1 F par véhicule-kilomètre. Les remarques précédentes sur les tarifs de pointe restent également valable.

Conclusion

Des approches aussi globales ne peuvent aboutir qu'à des conclusions d'ordre très général et dans une certaine mesure provisoires.

L'étude comparative des coûts marginaux et des tarifs actuels des divers modes de transport conduit cependant à certaines constatations concernant les transports dans les zones encombrées des centres urbains, spécialement aux heures de pointe, où des taux de saturation de la voirie voisins de 1 ou supérieurs à 1 sont généralement atteints :

— la tarification actuelle des différents modes de transport est généralement inférieure aux coûts marginaux pour la collectivité ;

— cette sous-tarification est considérable pour les voitures particulières et les lignes de métro saturées ; elle est beaucoup moins importante pour les autobus et les lignes de métro non saturées ;

— il en résulte en particulier que le comportement des usagers n'est pas conforme à l'optimum économique pour la collectivité. Si l'on souhaite se rapprocher de celui-ci, il apparaît indispensable que ceux qui, aux heures de pointe, choisissent les voitures particulières soient moins nombreux, ce à quoi peut certainement contribuer une tarification plus stricte. L'accélération en résultant pour les autobus, qui devrait s'accompagner du développement de ce mode de transport, permettrait d'alléger à leur profit le trafic des lignes de métro saturées, ce qui serait également nécessaire, mais qu'on ne peut obtenir par une augmentation des tarifs.

Ces conclusions ne sont valables que dans l'état actuel de la demande de transport et des infrastructures. Leur extrapolation à plus long terme nécessiterait au préalable un examen soigneux de l'évolution prévisible de l'une et des autres, et en particulier la connaissance du déroulement des investissements ultérieurs.

III. — COMPATIBILITÉ DE LA TARIFICATION AU COUT MARGINAL ET DE L'ÉQUILIBRE BUDGÉTAIRE DES TRANSPORTS EN COMMUN.

Les mérites de l'équilibre budgétaire

L'intérêt, au point de vue économique, d'une tarification au coût marginal a été exposé dans les deux sections précédentes : elle conduit à utiliser les infrastructures existantes au moindre coût pour la collectivité. Mais on ne peut passer sous silence les problèmes financiers que pose l'équilibre budgétaire des organismes gestionnaires des systèmes de transport, ainsi que la réalisation d'infrastructures nouvelles, routières ou ferrées.

Le financement des investissements d'infrastructures et la possibilité de l'imputer, en tout ou en partie, sur les ressources tirées des taxes aux « tarifs optimaux » (et notamment des taxes de congestion) pose des problèmes très complexes. Leur étude supposerait en particulier que l'on définisse ce qu'il faut entendre par choix optimal des investissements (1). Elle ne sera pas entreprise ici.

Par contre, on abordera la question, essentielle à court terme, de l'équilibre des seuls budgets d'exploitation (charges d'amortissement du matériel roulant incluses) des enterprises de transport en commun. Astreindre celles-ci à l'équilibre budgétaire (2) offre des avantages certains : Pleinement responsable de sa gestion, l'entreprise est constamment orientée vers l'efficacité, au sens le plus large ; il s'agit pour elle non seulement de minimiser les coûts (et l'on rappelle qu'une des hypothèses fondamentales de la théorie économique, sur laquelle on s'est constamment appuyé, est que tout les coûts soient minimisés), de moderniser son matériel, d'accroître la qualité et l'attractivité de ses services, si cela doit être rentable, voire d'en créer de nouveaux.

D'autre part, l'imputation aux seuls usagers des réseaux de transport des dépenses de fonctionnement de ceux-ci permet d'éviter leur prise en charge partielle par les collectivités locales ou l'Etat, c'est-à-dire les contribuables. Cette solution, qui paraît plus conforme à l'équité et supprime les disparités de traitement entre agglomérations, permet en outre de dégager plus facilement les moyens financiers nécessaires ; dans cette optique, seules les obligations de service public imposées sur des lignes « non rentables », où la volonté de voir des catégories défavorisées d'usagers bénéficier de tarifs « sociaux », peuvent justifier des subventions de la part des collectivités publiques.

---

(1) Les méthodes de choix des programmes optimaux, telles que celles appliquées aux investissements routiers de rase campagne, sont sans doute, dans leur principe, transposables au choix des investissements de transport en milieu urbain. Mais leur application se heurte à de nombreuses difficultés : co-existence de plusieurs modes de transports, prise en compte des effets externes et d'objectifs d'urbanisme très variés.

(2) Remarquons qu'il conviendrait de préciser à quel niveau il s'agit de rechercher cet équilibre : à celui d'une ligne, ou d'un réseau, ou de plusieurs réseaux de modes de transport différents dont la gestion relève d'une même responsabilité.

La conjonction des avantages des deux systèmes de tarification.

On doit donc se poser la question de savoir s'il y a compatibilité entre les deux principes de tarification : la baser sur le coût marginal ou sur le respect de l'équilibre budgétaire.

Dans la pratique, on peut se trouver dans des situations très diverses : les recettes tirées d'une tarification au coût marginal peuvent excéder les dépenses totales d'exploitation ou leur être inférieures ; ce dernier cas est celui des entreprises à « rendement croissant », pour lesquelles le coût marginal est inférieur au coût moyen, notamment du fait de l'existence de charges fixes importantes.

Il semble possible d'obtenir en théorie à la fois les avantages de l'un et l'autre des deux principes de tarification envisagés : il faut pour cela adopter, pour les différentes modalités de transports, une combinaison de tarifs suffisamment élevés pour que l'équilibre des budgets d'exploitation soit assuré, et tels que le choix des usagers soit identique, ou presque, à ce qu'il serait dans l'hypothèse de tarifications au coût marginal (1).

On a vu que les comportements des usagers sont commandés par une comparaison entre les coûts des diverses solutions qui s'offrent à eux, quant aux modes de transport, aux heures, etc. Dès lors que l'on fait subir aux tarifs des divers modes des distorsions comparables, on ne modifie pas les choix. Les distorsions entre le tarif à appliquer et le coût marginal dépendent évidemment des élasticités respectives dans chaque mode de transport. Dans certaines études, basées sur des modèles simplifiés, on considère qu'il suffit de ne pas changer les différences de prix entre les divers modes ; les tarifs basés sur le coût marginal seraient alors ajustés à la contrainte d'équilibre budgétaire par l'addition d'une constante; c'est l'hypothèse retenue dans le modèle de choix du mode de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Parisienne décrit chapitre II, section II, § 3 ; d'autres auteurs pensent que ce sont les rapports entre les prix qui doivent rester inchangés. Des analyses de comportement plus poussées devraient permettre de résoudre cette question.

Le cas des transports en commun urbains

Comment se présente la situation de fait actuelle en matière de transports urbains ? Les analyses effectuées aux chapitres III et IV conduisent aux remarques suivantes :

— l'usage de l'automobile étant actuellement fortement sous-tarifé dans les zones encombrées aux heures de pointe, l'application du principe de la tarification au coût marginal conduirait à le taxer à un niveau beaucoup plus élevé... Il devrait en résulter une diminution du trafic automobile, et, selon le processus décrit en section II, une baisse des coûts d'exploi-

(1) On parle ici du maintien des proportions selon lesquelles les différents modes se répartissent le trafic total. Car celui-ci est évidemment amoindri par une hausse des tarifs dès lors que l'élasticité de la demande globale n'est pas nulle ; on a vu d'ailleurs que cette élasticité était très faible pour les migrations domicile-travail, dont le rôle est majeur en heure de pointe.

tation des autobus et un accroissement sensible de leur qualité de service et de leur clientèle. Dans ces conditions, il paraît possible de faire supporter à ce mode de transport tous les coûts qu'il provoque, tout en maintenant les tarifs à un niveau voisin du niveau actuel. Ainsi, une tarification des différents modes de transport basée sur les coûts marginaux favoriserait le rétablissement de l'équilibre financier des transports en commun.

— dans le cas particulier de Paris, et en ce qui concerne la R.A.T.P., on a vu que le coût marginal d'un usager de l'autobus en heure de pointe était, grosso modo, égal ou un peu supérieur au coût moyen (calculé sur l'ensemble de la journée). Ce résultat n'est pas surprenant : les charges fixes sont faibles (les dépenses d'infrastructures propres sont minimes), mais le coût moyen est relativement élevé à cause des faibles taux d'occupation en heure creuse.

Il est raisonnable de penser qu'un tel résultat s'applique, à très peu près, aux réseaux de province, pour lesquels il existe un déséquilibre analogue des trafics entre heures creuses et heures de pointe.

— en heure creuse, le coût d'un usager marginal est, « stricto sensu », très faible ou quasi nul. Mais dans ce cas l'application d'un tarif égal au coût marginal ne s'impose pas car, les infrastructures n'étant pas saturées, le problème de leur utilisation optimale ne se pose guère. D'autre part, le coût du service d'heure creuse, par usager moyen, n'est pas négligeable, puisque les taux d'occupation sont faibles.

Sans même chercher à proposer une méthode de calcul pour les tarifs d'heure creuse, on voit donc qu'il est possible de les fixer à un niveau moyennement élevé (qui devrait en tout état de cause rester inférieur aux tarifs d'heure de pointe, et sans doute inférieur au coût moyen par usager calculé sur l'ensemble de la journée) afin que les voyageurs qui en ont la possibilité soient incités à se déplacer de préférence en heures creuses.

— en conclusion, la fixation de tarifs d'autobus qui soient, aux heures de pointe, un peu supérieurs au coût moyen et, aux heures creuses, un peu inférieurs à ce coût aurait un triple avantage : réaliser l'équilibre budgétaire (il suffit pour cela que la moyenne pondérée des tarifs soit égale au coût moyen) ; assurer l'utilisation optimale des infrastructures aux heures de pointe (le tarif serait peu différent du coût marginal ; de toute manière, sans commune mesure avec le coût marginal de congestion à imputer aux automobiles, il remplirait sa fonction de correcte répartition) ; inciter les usagers à se déplacer en heure creuse.

Ces trois objectifs, les plus importants du point de vue économique, peuvent être facilement atteints à la condition, bien entendu, que le coût marginal de congestion soit correctement imputé aux automobiles. C'est le niveau élevé de ce dernier coût qui permet d'ailleurs de disposer d'une certaine **marge de manœuvre** pour fixer les tarifs des transports en commun.

— toujours en Région Parisienne, il semble que les conclusions précédentes soient tout aussi valables pour le métro. Il faudrait dans cet esprit envisager pour celui-ci des tarifs sensiblement plus élevés qu'à l'heure actuelle sur les lignes saturées, aux périodes de pointe. Ces différenciations selon le parcours et l'heure impliqueraient la remise en cause du principe de l'unité de tarif, qui est actuellement celui du métro parisien.

Il convient d'ailleurs de rappeler qu'un relèvement des tarifs du métro, s'appliquant à des usagers qui pour la plupart l'empruntent obligatoirement, est sans grand profit sous l'angle de l'utilisation optimale des infrastructures. On notera aussi que la situation financière du réseau ferré de la R.A.T.P. est beaucoup plus proche de l'équilibre que celle du réseau d'autobus.

— a contrario, la réalisation de l'équilibre budgétaire des transports en commun sans qu'il y ait imputation des coûts de congestion aux automobiles conduirait à des pertes économiques importantes, puisque le transport individuel serait fortement sous-tarifé par rapport aux modes concurrents.

IV. — LES EFFETS PROBABLES D'UNE MODIFICATION DE LA TARIFICATION DES TRANSPORTS URBAINS.

L'application d'une tarification optimale, au sens qui a été défini plus haut, conduirait probablement à une modification importante des taxes et tarifs actuels dans les centres urbains.

Les conséquences de tous ordres qui pourraient résulter de telles mesures dépendent essentiellement du mode de perception retenu : taxation dircte de la circulation, ou indirecte par le moyen du stationnement, imputation des coûts de transport aux entreprises localisées dans le centre, etc.

Il est cependant possible de se faire une idée générale des principaux effets à attendre et, en particulier, de ceux qui résulteraient d'une modification sensible des coûts de circulation supportés par de nombreux usagers. On doit distinguer à cet égard les effets à court et à long terme.

1) EFFETS A COURT TERME DE LA TARIFICATION.

Ils portent essentiellement sur le comportement des usagers en matière de déplacements et sur les conditions de transport.

La part du coût de congestion devant être prépondérante dans la tarification, c'est dans les zones encombrées, et surtout aux heures de pointe, que les effets seront les plus sensi-

bles. Ils peuvent être extrêmement variés, les comportements résultant du coût des diverses options qui s'offrent aux intéressés. Les effets dépendront également du mode de perception ; ceux d'une tarification du stationnement seront différents de ceux d'une taxe de circulation (voir les études britanniques sur ce sujet mentionnées en section VII - **réf. 6**).

On peut envisager :

DES TRANSFERTS ENTRE MODES DE TRANSPORT.

Ils porteront sans doute surtout sur les déplacements entre domicile et lieu de travail et, pour la plupart, consisteront à remplacer l'usage de la voiture particulière par celui d'un transport en commun, d'un véhicule à deux roues, ou par la marche à pied.

Mais le nouveau mode choisi dépendra fortement de la taille de la ville, de la qualité de l'offre de transports en commun sur la relation, de la longueur des déplacements, etc.

Dans les agglomérations importantes c'est sans doute vers **l'autobus** que se retourneraient principalement les usagers dans la situation actuelle. Grâce à l'effet bénéfique qu'aurait sur sa rapidité une tarification correcte des infrastructures de voirie, et sous réserve naturellement que soient améliorées sensiblement la capacité et la qualité de service des réseaux actuels, l'autobus paraît pouvoir constituer, à court terme, la soupape de sécurité qui permettrait de soulager à la fois le trafic des voitures particulières et, à Paris, les lignes de métro saturées.

UN ÉTALEMENT DE LA PÉRIODE DE POINTE OU UN DÉCALAGE HORAIRE DES DÉPLACEMENTS EFFECTUÉS POUR CERTAINS MOTIFS.

La possibilité d'un tel étalement est évidente, sous réserve d'une modulation assez fine de la tarification en fonction de l'heure. L'étalement de la pointe du soir résulterait peut-être surtout d'un changement d'heure pour des déplacements consacrés aux achats ou aux affaires, étant donné que le retour du lieu de travail au domicile est lié à des horaires fixes. En ce qui concerne ce retour, la tarification différentielle frappant les heures de pointe devrait être supportée finalement par les employeurs, les décisions concernant les horaires leur ap-

De même, les livraisons, et bien d'autres transports de marchandises, seraient fortement incités à s'effectuer en période creuse.
partenant.

L'AUGMENTATION DU TAUX D'OCCUPATION DES VOITURES

L'utilisation conjointe par plusieurs personnes du véhicule de l'un d'eux, lorsque leurs itinéraires sont en partie communs, généralement pour le trajet domicile-travail, dit quelquefois « car pool », permet de faire supporter à plusieurs usagers les dépenses de circulation du véhicule. Elle se trouvera encouragée et pourra dans certains cas être préférée au changement de mode.

UNE MODIFICATION DU NOMBRE DE DÉPLACEMENTS ENGENDRÉS.

La tarification pourra dissuader d'effectuer certains déplacements rendus trop coûteux pour l'intérêt qu'ils présentent ou, au contraire, en améliorant l'accessibilité, inciter à d'autres à certaines heures.

On peut, par exemple, penser que, dans la journée, une vitesse des autobus plus élevée, ou la certitude de trouver une place de stationnement pourront permettre un nombre plus important de déplacements pour des achats.

DES CHANGEMENTS D'ITINÉRAIRES OU DE DESTINATION.

Certains trafics seront encouragés à prendre des itinéraires moins coûteux ; entre autres les poids lourds à éviter les centres des villes.

Dans d'autres cas, les usagers modifieraient leur destination : ils feraient des achats dans les centres commerciaux périphériques, si la tarification dans le centre leur semble élevée, ou au contraire s'adresseraient aux commerces du centre, s'ils sont plus accessibles, notamment grâce au stationnement payant.

Une comparaison précise des coûts généralisés du transport pour l'usager, avant et après l'institution des mesures, serait nécessaire pour que l'on puisse prévoir ces modifications de comportement.

DES MODIFICATIONS DES TYPES DE VÉHICULES.

Si la tarification est modulée selon la **taille** des véhicules, c'est-à-dire selon leur coefficient d'équivalence dans la circulation, on peut penser que certains préféreront acquérir des voitures plus petites, mieux conçues pour la circulation urbaine, et que les constructeurs pourront alors trouver un marché plus important pour ce type de véhicules. De même des incitations tarifaires, dont les modalités restent à définir, pourraient conduire à développer plus rapidement un véhicule **sans nuisances.**

Des effets sur les conditions de transport

Il n'est pas douteux que la tarification des infrastructures à leur coût marginal entraîne dans l'ensemble un accroissement du coût monétaire des transports. Mais en contre-partie les conditions dans lesquelles ceux-ci s'effectuent seraient améliorées : plus de rapidité, moins d'entassement, possibilité de trouver une place de stationnement lorsque cela est vraiment nécessaire, seraient les conséquences bénéfiques de la meilleure utilisation des infrastructures (« Better use of To°n Roads). Ces avantages pourraient correspondre à une diminution du coût généralisé pour de nombreux usagers.

2) EFFETS A LONG TERME DE LA TARIFICATION.

L'insuffisance des connaissances actuelles, malgré les recherches en cours sur les modèles de développement urbain, ne permet pas d'approfondir véritablement cette question.

Un changement de tarification dans une agglomération modifie la carte des coûts généralisés de transport, et c'est par là qu'il provoque indirectement des effets à long terme. Ceux-ci sont d'ordre urbanistique, économique et social. On se bornera à en donner une énumération, qui ne prétend pas être exhaustive.

— Effets sur les prix fonciers

— Effets sur les formes de l'urbanisation

La réussite d'une ville nouvelle peut, par exemple, être conditionnée par la tarification des infrastructures de transport la desservant.

— Effets sur la localisation des activités

Si l'imputation des coûts est correcte, on devrait assister au départ de certains établissements hors des zones encombrées, et au contraire au développement d'autres dans des zones plus facilement atteintes. Il semble aussi qu'en raison de l'importance des coûts de transport dans la région parisienne, les entreprises soient incitées davantage à se « décentraliser ».

— *Effets sur le choix du domicile et du lieu de travail*

— Conséquences sociales

On renvoie à ce sujet à ce qui a été dit au début du chapitre (section I, § 1, in fine), où l'on a rappelé qu'un des effets essentiels d'une correcte imputation des coûts était de favoriser les usagers des transports en commun, c'est-à-dire les catégories sociales les plus défavorisées.