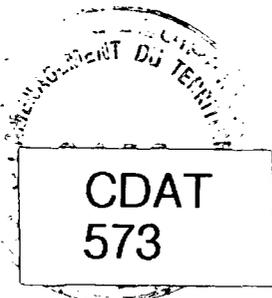


LE PEAGE SUR LES AUTOROUTES ET LA THEORIE ECONOMIQUE

H. LEVY-LAMBERT

Ingénieur au Corps des Mines

Professeur d'économie appliquée au C.E.P.E et à l'E.N.S.A.E.



septembre 1965



LE PEAGE
SUR LES AUTOROUTES
ET
LA THEORIE ECONOMIQUE



I N T R O D U C T I O N

Le problème du péage sur les autoroutes est devenu dans ces dernières années l'objet de discussions passionnelles entre usagers et financiers. Les financiers, tenants d'une orthodoxie financière basée sur une arithmétique simplifiée, considèrent généralement que ce secteur doit être en équilibre budgétaire, donc couvrir ses dépenses annuelles par des recettes égales provenant de péages, un certain endettement étant toutefois admis pour étaler partiellement dans le temps les charges d'investissement, très lourdes en période de démarrage.

Les usagers se bornent à constater que les recettes fiscales spécifiques à l'automobile excèdent largement les dépenses correspondantes, et que l'équilibre budgétaire est donc d'ores et déjà assuré et même dépassé, sans péages sur les autoroutes*.

Les techniciens ont timidement pris position contre le péage ((8)), mais leur argumentation était légère et incapable d'entraîner la conviction du lecteur non convaincu d'avance. Il semble d'ailleurs que, placés devant le dilemme "autoroutes à péages ou pas d'autoroutes", leur combativité ait tendance à diminuer.

Il est étonnant que les étymologistes ne se soient pas émus de cet abus de langage, car si certains n'hésitent pas, en s'appuyant sur une consonnance voisine, à faire venir le péage du verbe payer, et même à écrire "payage", le petit Larousse par contre, donne comme origine le mot latin "pes, pedis" qui signifie pied, et qui a donné naissance au mot piéton et non au mot automobiliste !

Mais il est encore plus étonnant que les économistes n'aient pas tenté d'éclairer la lanterne des intéressés***. En effet, dans notre économie mi-libérale, mi-socialiste, les tarifs des services publics ne peuvent pas être considérés uniquement sous l'angle financier comme peut le faire une entreprise privée. Ils doivent être considérés aussi sous l'angle économique en ce sens qu'ils orientent le comportement des utilisateurs.

((8)) : les numéros entre doubles parenthèses renvoient à la bibliographie située à la fin de l'étude.

*On trouvera toutefois dans ((15)) une étude synthétique très documentée des avantages et des inconvénients des péages pour l'Etat, la collectivité et les usagers.

***Une analyse théorique partielle de la question se trouve dans ((18)) .../...

Il est possible a priori que ces deux optiques ne soient pas totalement compatibles, et qu'en dernier ressort, des contraintes financières inéluctables obligent les Pouvoirs Publics à s'écarter de l'optimum économique*. Encore faut-il que la ligne d'action souhaitable soit connue, afin que la ligne d'action choisie s'en écarte le moins possible.

0
0 0

Nous n'étudierons pas la question de la justification des investissements ; bornons nous à signaler que cette question ne peut être séparée de celle de la tarification. Plus précisément, le choix d'une politique tarifaire doit être préalable au choix d'un investissement, puisque l'utilisation future de l'ouvrage, donc la taille qu'il faut lui donner, dépendent de la politique de tarification choisie. Mais ceci n'oblige pas à appliquer la tarification prévue si, après réalisation de l'ouvrage, il s'avère que celui-ci n'est pas optimal, par exemple parce que certaines prévisions ne se réalisent pas : la politique tarifaire doit être en principe révisée aussi souvent qu'il est nécessaire, compte tenu des modifications imprévues de la demande. Finalement, on voit que le problème de la tarification d'un ouvrage peut être étudié indépendamment du problème de sa justification économique, soit pour préparer le choix d'un ouvrage à construire, soit pour assurer la meilleure utilisation d'un ouvrage existant, optimal ou non. Le fait qu'un ouvrage soit optimal ou ne le soit pas ne change d'ailleurs rien à la politique de tarification optimale, si ce n'est que, pour un ouvrage optimal, il existe une relation (pas forcément une égalité) entre les recettes provenant de la tarification optimale, et le coût d'investissement.

0
0 0

* Les contraintes financières ne sont pas vraiment inéluctables puisque dans les cas opposés, et malgré la politique de "vérité des prix", les Pouvoirs Publics hésitent souvent à majorer les tarifs de services publics vendus nettement en dessous de leur coût.

Les travaux récents sur la comparaison des états économiques entrepris notamment par LESOURNE ((9)) permettent d'aborder avec rigueur des problèmes tels que celui du péage sur les autoroutes, et de préciser exactement les limites de validité des résultats.

Essentiellement méthodologique, la présente étude n'a pas pour ambition, et nous nous en excusons d'avance auprès du lecteur, de préciser s'il faut instituer un péage sur l'autoroute du Sud et quel doit être son niveau à chaque instant. Son objectif est seulement d'indiquer comment on doit aborder la question, et pour ce faire, nous partirons d'un schéma simplifié, que nous compliquerons progressivement autant qu'il sera nécessaire pour rendre compte des principaux phénomènes utiles.

Le schéma le plus simple que l'on puisse imaginer est celui d'un ouvrage inélastique à coût partiel nul. Nous allons en rappeler la tarification optimale.

PREMIERE APPROXIMATION : OUVRAGE INELASTIQUE A COUT PARTIEL NUL

On peut admettre sans altérer la nature du problème que les frais d'entretien d'une autoroute ne dépendent pas de l'importance du trafic qui l'emprunte. A peu près vraie pour les véhicules de tourisme, cette hypothèse est sans doute inexacte pour les poids lourds, mais cela n'a pas d'importance car la facturation d'éventuels frais proportionnels ne pose aucun problème de principe. Sans que cela nuise à la généralité de l'étude, nous ne considérerons d'ailleurs ici qu'une seule catégorie de véhicules, dont les caractéristiques seront approximativement celles des voitures de tourisme, et nous supposerons que les comportements de leurs conducteurs sont analogues.

Il est plus difficile d'admettre qu'une autoroute est un ouvrage inélastique, dont la capacité est bien déterminée. Nous verrons plus loin que cette simplification est abusive, car elle revient à considérer que le trafic s'écoule normalement tant qu'il n'y a pas plus de x véhicules/heure et ne s'écoule plus du tout dès que ce chiffre est dépassé.

Cette hypothèse admise pour le moment, on sait que la théorie de l'optimum économique conduit à préconiser, sous certaines conditions que nous détaillerons plus loin, la tarification au coût marginal. Or le coût marginal est nul tant que l'autoroute n'est pas saturée, puisqu'une voiture supplémentaire n'entraîne aucune dépense supplémentaire pour l'organisme chargé de la gestion de l'autoroute ; et quand l'autoroute est "saturée", le coût marginal devient infini, puisque par hypothèse on ne peut faire passer un véhicule de plus. On a ainsi la courbe en L de la fig. 1, qui représente le coût marginal "ex post" c'est-à-dire le coût marginal d'un ouvrage déjà réalisé.

Donc si la courbe de demande est de la forme I (fig. 1), le tarif optimal est nul et l'autoroute n'est pas saturée.

Si la courbe de demande est de la forme II (fig. 1), le tarif optimal est OA et l'autoroute est saturée.

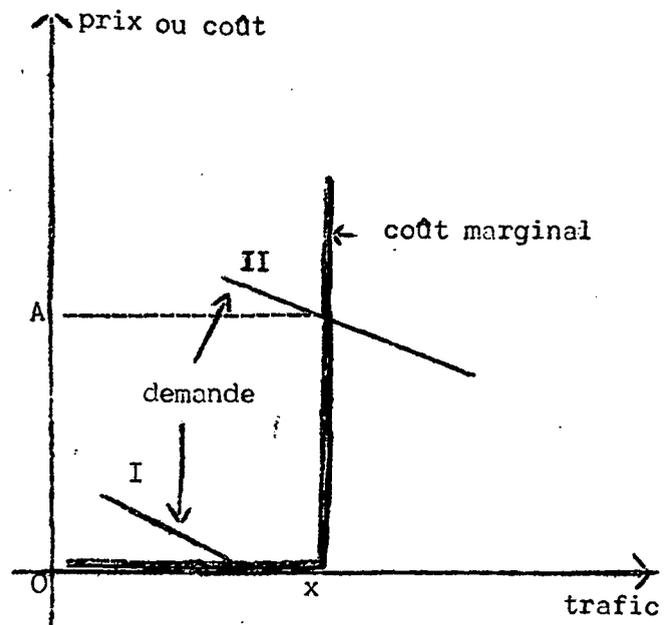


Fig. 1 : ouvrage inélastique à coût partiel nul.

On trouve ainsi qu'il ne doit y avoir de péage que si l'autoroute serait saturée en l'absence de péage, et que ce péage doit être fixé à un niveau tel que le trafic soit exactement égal à la capacité x de l'autoroute. Cette propriété détermine sans ambiguïté le péage à pratiquer, lequel varie si la courbe de demande varie (variations horaires, journalières, saisonnières, annuelles). On voit que cette tarification, qui assure la meilleure utilisation de l'ouvrage, n'est aucunement liée à son coût de construction.

C'est seulement dans le cas où l'ouvrage peut être choisi dans une gamme continue qu'il existe une relation globale entre le péage et le coût de développement de l'ouvrage, dans le cas où celui-ci est optimal. En effet, avant la construction de l'ouvrage, le coût marginal est égal au coût (investissement + frais d'exploitation) d'un petit accroissement - sur plans - de la taille de l'ouvrage.

Si l'ouvrage est optimal et si la demande est invariable, le péage à y pratiquer doit être égal à ce coût, lequel s'appelle coût de développement ou coût marginal "ex ante". Mais le péage doit aussi être égal au coût marginal "ex post" représenté par la courbe en L de la figure 1;

Pour un ouvrage optimal, il y a donc une double égalité entre le péage optimal et les coûts marginaux ex ante et ex post. Le coût marginal ex ante (coût de développement), est inférieur au coût moyen s'il y a des "économies d'échelle" ou rendement croissant. Les effets de raréfaction du sol, rendant de plus en plus difficile l'accroissement de capacité, peuvent par contre conduire à un coût de développement supérieur au coût moyen. On ne peut donc pas dire a priori si la tarification trouvée assure ou n'assure pas l'équilibre budgétaire.

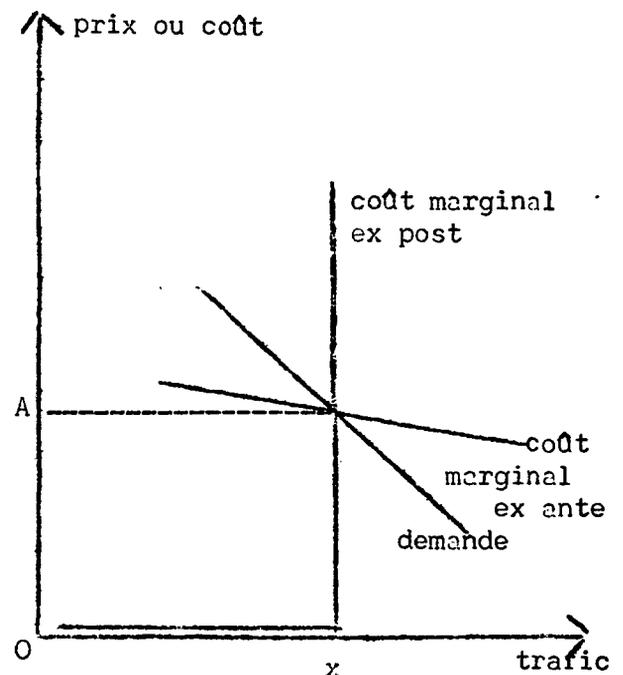


Fig 2 : ouvrage optimal

Si la demande n'est pas invariable (variations journalières, saisonnières, annuelles), on montre que la taille optimale est définie par l'égalité du coût de développement et du péage moyen actualisé, le péage applicable à chaque instant étant toujours défini comme ci-dessus par le coût marginal ex post (voir par exemple ((10))).

Sans même parler du Tarif Vert d'Electricité de France qui est maintenant bien connu tant dans ses principes que dans ses modalités, nous pouvons remarquer que les principes de tarification que nous venons de définir se retrouvent dans des pratiques commerciales privées courantes, prix de lancement, de saison creuse, d'heures creuses, de pointe, etc..., destinées à adapter autant que possible la demande à l'offre. Ils ne se retrouvent par contre absolument pas dans certaines pratiques traditionnelles de tarification d'ouvrages publics où, pour des raisons d'ailleurs faciles à comprendre, les tarifs sont élevés dans les premières années, quand la demande est faible, et diminuent ensuite alors que la demande augmente.

Si la tarification que nous venons de déterminer pour un ouvrage inélastique à coût partiel nul est aujourd'hui assez connue, il ne semble pas par contre que ses conditions de validité le soient. On les trouvera détaillées dans LESOURNE ((9)) ou ABRAHAM - THOMAS ((2)), et nous les précisons maintenant, pour montrer qu'elles ne sont absolument pas vérifiées dans le cas des autoroutes :

Condition 1 : il existe un système de prix uniques à la consommation, et les consommateurs maximisent, en fonction de ces prix, leur satisfaction, laquelle n'est fonction que de ce qu'ils consomment ;

Condition 2 : toutes les autres entreprises publiques et privées maximisent leur revenu à prix constants, ou ce qui revient au même, vendent au coût marginal ; les fonctions de production des entreprises sont continues et ne dépendent que des facteurs de production qu'elles consomment ;

Condition 3 : la répartition des revenus est optimale.

Examinons un peu ces conditions : les deux premières sont classiques, et les objections générales qui sont faites à leur validité sont connues. Nous n'en retiendrons donc que celles qui concernent particulièrement notre problème, en les classant par ordre de difficulté, et en remarquant chemin faisant que ces objections sont conformes au bon sens :

a) la fonction de production de l'autoroute, c'est-à-dire la relation qui lie la capacité d'une autoroute aux facteurs de production nécessaires pour la construire (béton, acier, main d'oeuvre, etc...), n'est pas continue puisqu'une autoroute doit avoir un nombre de voies entier ; il en résulte que, dans beaucoup de cas, le nombre de solutions techniquement envisageables se limite à une seule.

b) la satisfaction des automobilistes n'est pas seulement fonction du nombre de kilomètres parcourus. Elle dépend également de la sécurité du parcours, de la vitesse possible, du confort, etc..., tous facteurs que l'on peut désigner sous le vocable général de "qualité du service". Or cette qualité varie avec le trafic, ce qui fait que la satisfaction de l'automobiliste dépend de facteurs externes. On a affaire à un service dont la qualité varie avec la demande.

c) la fonction de production de l'autoroute n'est pas définie de manière univoque puisqu'elle varie suivant l'existence ou l'absence de postes de péage. Le coût des postes de péage et des aménagements qui leur sont liés introduit une discontinuité dont les effets sont analogues à ceux du frottement en mécanique.

d) il est une entreprise (au moins !) qui ne vend pas au coût marginal, c'est l'entreprise "routes" : il n'y a pas de péages sur les routes. L'impôt sur l'essence qui, d'un certain point de vue, en tient lieu, n'a pas a priori les caractéristiques d'un péage optimal. On est donc manifestement dans un cas d'environnement imparfait, étudié notamment dans ((4)).

e) la troisième condition exprime que la collectivité nationale estime équivalent de donner une unité de revenu supplémentaire à l'un ou l'autre des individus qui la constituent. Cette condition, longtemps passée sous silence par les économistes est essentielle pour que l'addition pure et simple des variations de revenus de toutes les personnes concernées soit représentative de la variation d'utilité collective. Cette condition n'est sans doute pas vérifiée actuellement en France, comme le montrent notamment les tentatives destinées à mettre sur pied une politique des revenus. Mais si l'on sait que la répartition des revenus n'est pas optimale, il est très difficile d'en tenir compte dans le calcul économique, car cela implique un choix politique explicite.

MODIFICATIONS A APPORTER AU SCHEMA PRECEDENT

Nous allons examiner maintenant successivement les modifications à apporter, du fait des cinq objections ci-dessus, à la tarification théorique d'un ouvrage inélastique à coût partiel nul, pour faire apparaître les principes de tarification optimale d'une autoroute réelle.

a) taille discontinue

Dans la pratique, les solutions techniques permettant d'assurer le trafic automobile sur un itinéraire déterminé rentrent dans quelques catégories nettement délimitées entre lesquelles existent des discontinuités marquées : routes à 2 voies, à 3 voies, à 4 voies, autoroutes à 4 voies, à 6 voies, etc... Certes, dans chacune de ces catégories, il existe des variantes en nombre quasi infini, quant à l'épaisseur du revêtement, le rayon des courbes, etc..., mais il existe une différence irréductible entre un quelconque ouvrage d'une catégorie et un quelconque ouvrage d'une autre catégorie. Qu'en résulte-t-il du point de vue de la tarification ?

Pour un ouvrage donné, sous réserve des objections autres que celle étudiée ici, et en admettant notamment qu'à un ouvrage donné correspond un trafic maximal donné, il n'y a rien à changer à la tarification trouvée ci-dessus, puisqu'elle ne fait pas intervenir la possibilité technique de réaliser d'autres ouvrages différents de l'ouvrage existant.

Par contre, le misonnement fait pour un ouvrage à réaliser doit être revu, puisqu'il suppose que l'on peut faire varier légèrement en plus ou en moins la taille de l'ouvrage. Comme dans la réalité il n'y a pas de "sur mesure", mais seulement de la "confection", on sera obligé d'adopter une taille qui ne sera pas optimale : on aura le choix entre la "taille du commerce" immédiatement inférieure et celle immédiatement supérieure.

.../...

Reprenons le raisonnement précédent en supposant pour simplifier une demande constante dans le temps (les résultats s'étendent facilement au cas d'une demande variable), en supposant le coût de développement inférieur au coût moyen (rendement croissant, pas d'effet de raréfaction du sol).

La taille optimale dans le cas où existe une gamme continue est donnée par l'abscisse du point d'intersection I (figure 3) de la courbe de demande et de la courbe de coût de développement.

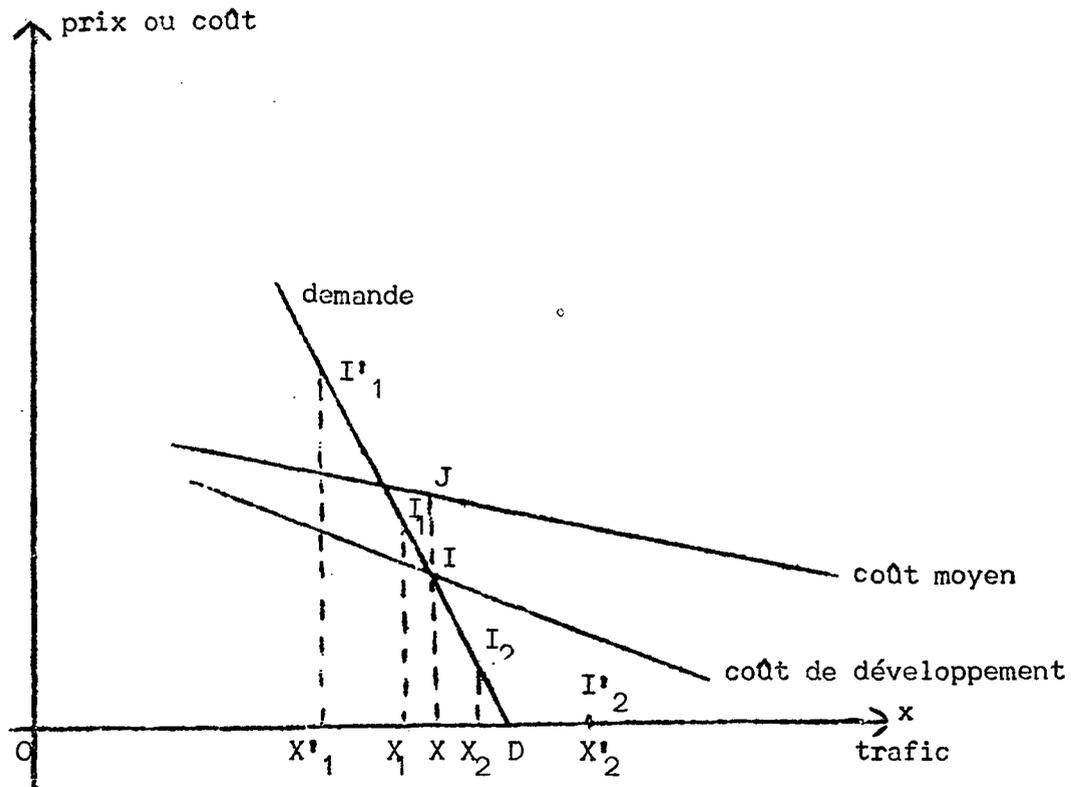


Fig. 3 : taille discontinue

Le péage optimal est égal à l'ordonnée XI du point I. Il est inférieur au coût moyen XJ, ce qui fait que la tarification optimale de l'ouvrage optimal est déficitaire.*

*Ceci est dû, rappelons le, à l'hypothèse faite de rendement croissant, qui ne se rencontre sans doute qu'en zone rurale.

Supposons maintenant que l'ouvrage de taille X n'existe pas dans le commerce, et que les tailles du commerce ne couvrent pas toutes les valeurs de X , les points représentatifs de leur coût moyen s'inscrivent néanmoins sur la courbe de coût moyen de la figure 3 * . On sera alors évidemment conduit à choisir entre les tailles existantes, suivant leur coût et les avantages qu'en retirent les usagers. Nous n'insisterons pas sur la manière dont doit s'effectuer le choix, que l'on trouvera par exemple dans ((5)) pour ne nous préoccuper que de la tarification. Disons simplement que l'on choisira, sauf contrainte financière, l'ouvrage dont la taille est la plus voisine de X , le sens de "voisine" étant d'ailleurs à préciser.

Supposons d'abord que la taille la plus voisine soit X_1 inférieure à X . Le péage optimal est alors donné par l'ordonnée $X_1 I_1$ du point I_1 situé sur la courbe de demande (et non sur la courbe de développement qui n'est d'ailleurs pas définie d'une manière unique). On voit qu'il est supérieur au péage XI correspondant à l'ouvrage optimal. Dans le cas de la figure 3 où la courbe de demande coupe celle du coût moyen, il peut même arriver que le péage optimal soit supérieur au coût moyen si la taille la plus voisine de X est inférieure à celle correspondant à l'intersection de ces courbes (cas de X'_1), ce qui assure la rentabilité financière de l'opération.

A l'inverse, si la taille la plus voisine est X_2 , supérieure à X , le péage optimal est $X_2 I_2$ inférieur à XI . Dans le cas où la courbe de demande coupe l'axe du trafic en un point D pas trop éloigné de X , il peut même arriver que le péage optimal soit nul, si la taille la plus voisine de X est supérieure à l'abscisse de D (cas de X'_2). Ceci se produit quand il existe une différence de capacité très grande entre les deux catégories de solutions techniques les plus proches : ainsi en est-il souvent dans les premières années tout au moins, quand on passe du bac au pont ou de la route à 4 voies à l'autoroute de liaison.

En définitive, du fait que la taille d'une autoroute varie d'une manière essentiellement discontinue, il résulte simplement que sa tarification optimale n'a pratiquement aucune relation avec son prix de revient.

* Cette courbe n'est pas définie pour toutes les valeurs de X . Elle peut être prolongée quelque peu arbitrairement dans les intervalles où elle n'est pas définie, de manière à obtenir une courbe régulière à laquelle on fait correspondre une courbe de coût de développement.

Nous raisonnerons dans ce qui suit sur des ouvrages existants ou projetés, sans nous préoccuper de leur justification. Nous n'aurons donc plus à faire intervenir les problèmes de discontinuité des tailles.

b) qualité du service variable

Une autoroute ne peut pas être assimilée à une installation inélastique, ayant une capacité physiquement bien définie. En effet la qualité du service, donc la satisfaction des usagers, varie avec l'importance du trafic d'une manière que l'on ne peut pas négliger : quand le trafic est faible, chaque véhicule roule librement à sa vitesse souhaitée, sans être gêné par les tiers. La vitesse souhaitée par chacun dépend d'une part de ses possibilités techniques (qui sont fonction de ses capacités, de son véhicule et de la route, mais pas du trafic), et d'autre part de facteurs socio-économiques (prix de l'essence, du temps, des accidents, etc...).

Par contre quand le trafic est important, les véhicules rapides sont obligés de ralentir, ont des difficultés pour doubler, et même finalement tous les véhicules doivent ralentir sinon s'arrêter par moments. Il y a alors interactions entre les véhicules, les possibilités techniques de chaque véhicule dépendent outre des facteurs techniques indiqués ci-dessus, de l'importance du trafic. Chaque véhicule est gêné par les autres, et corrélativement gêne les autres. Il y a là un certain type d'économies externes, ou plus exactement de désavantages externes * que l'on retrouve sous une forme voisine par exemple dans les problèmes d'utilisation des ressources en eau souterraine ((12)) ou de pollution des eaux ((13)) ou de l'atmosphère.

On peut montrer que ce phénomène conduit à introduire un concept de coût marginal généralisé, qui est la somme du coût marginal pour le producteur, habituellement seul retenu, et du coût marginal pour les consommateurs .

* "external diseconomies" dans la terminologie anglosaxonne ; voir à ce sujet ((7)) et ((4)).

En effet, l'optimum ne peut être atteint que si les avantages retirés par un automobiliste quelconque de l'utilisation de l'autoroute sont supérieurs ou égaux aux désavantages que sa présence sur l'autoroute procure à la collectivité ce qui implique que le coût de circulation de l'automobiliste (péage + dépenses directes) soit égal à ces désavantages. Si l'on admet que la répartition des revenus est optimale (objection e), les désavantages s'ajoutent purement et simplement, la pondération étant la même pour tous.

Si, de plus, l'on ne tient pas compte pour l'instant de l'imperfection de l'environnement (objection d), les désavantages ci-dessus semblent ne concerner que l'autoroute et les automobilistes qui l'empruntent, à l'exclusion de tous autres agents économiques.

En fait, on est obligé, même dans le cadre des hypothèses ci-dessus, de faire intervenir implicitement au moins, deux autres agents économiques, qui sont d'une part l'Etat qui perçoit les taxes sur l'essence, et d'autre part les compagnies d'assurance qui répartissent entre les automobilistes le coût des accidents. Par contre l'entreprise gérant l'autoroute n'intervient pas dans la mesure où l'on néglige la variation des frais d'entretien avec le trafic.

Nous allons maintenant poursuivre l'étude du problème de la qualité du service sur une application numérique qui est destinée à fixer les idées, mais qui n'est pas censée représenter la réalité. Nous supposons qu'il n'existe qu'une seule catégorie de véhicules (véhicules légers), et que tous les éléments du problème peuvent s'exprimer uniquement en fonction du trafic journalier moyen J (on néglige donc les pointes horaires en supposant par exemple que la répartition horaire du trafic journalier est invariable).

Nous supposerons que la qualité du service est fonction de trois éléments qui sont le temps passé (ou la vitesse moyenne), la consommation d'essence et le nombre moyen d'accidents, les autres éléments étant supposés indépendants du trafic.

Ces éléments sont supposés varier de la manière suivante, en fonction du trafic journalier moyen J exprimé en véhicules par jour :

$$\text{vitesse} : V \text{ km/h} = 90 - 0,1 \cdot 10^{-3} J - 0,01 \cdot 10^{-6} J^2 \quad (1)$$

.../...

$$\text{essence} : c \text{ l/100 km} = 14,6 - 0,29 V + 2,4 \cdot 10^{-3} V^2 \quad (2)$$

$$\text{accidents} : a \text{ accidents/100 millions de véhicules. km} = 20 + 3 \cdot 10^{-3} J \quad (3)$$

Les courbes représentatives de ces 3 fonctions sont données sur les figures 4, 5, 6. La vitesse moyenne (fig. 4) part de 90 km/h et diminue dès le début, ce qui fait qu'il n'y a dans ce modèle aucune plage de non-interactions ; elle diminue de plus en plus vite et atteint 60 km/h pour 50 000 véhicules/jour. Au-delà d'un certain trafic, la formule (1) ne s'applique plus, car la pente de la courbe change de signe. Nous ne nous occuperons pas de ce qui se passe au-delà du point à tangente verticale.

La consommation moyenne (fig. 5) est de 10 l/100 km à 20 km/h, diminue jusqu'à 60 km/h et augmente ensuite pour atteindre 8 l/100 km à 90 km/h.

Le nombre moyen d'accidents (fig. 6) est supposé augmenter linéairement de 20 accidents pour 100 millions de véhicules km quand le trafic est nul pour atteindre 200 accidents quand le trafic est 60 000 véhicules/jour. Cette courbe est largement arbitraire, mais il nous a paru irréaliste de retenir un taux d'accidents indépendant du trafic.

Nous devons maintenant faire une hypothèse sur le comportement des automobilistes en face des 3 éléments ci-dessus. En ce qui concerne le temps passé, la théorie lui donne une valeur que ce temps soit pris sur le travail ou sur le loisir (à l'optimum les deux valeurs marginales sont égales). Les enquêtes effectuées par le Ministère des Travaux Publics ((6, 16, 17)) ont conduit à estimer la valeur moyenne d'un gain de temps à 8 F par heure de véhicule. On peut donc considérer dans les calculs le temps passé comme une dépense au même titre que l'essence. En ce qui concerne l'essence, il faudra tenir compte de ce qu'un litre coûte environ 1 F/l à l'automobiliste, mais rapporte 0,65 F/l à l'Etat *. Enfin, en ce qui concerne les accidents, la question est très délicate non seulement du fait de l'existence des compagnies d'assurance, mais aussi et surtout du fait que certaines conséquences des accidents ne sont pas chiffrables ni même appréciables par les intéressés. On ne peut donc dire que l'automobiliste moyen se comporte rationnellement en face du risque d'accidents. Mais on ne peut pas non plus considérer qu'il le néglige complètement.

* Il s'agit des taxes extraordinaires frappant la consommation d'essence. On considère qu'une taxation normale analogue à celle des autres produits conduirait au prix de 0,35 F/l environ.

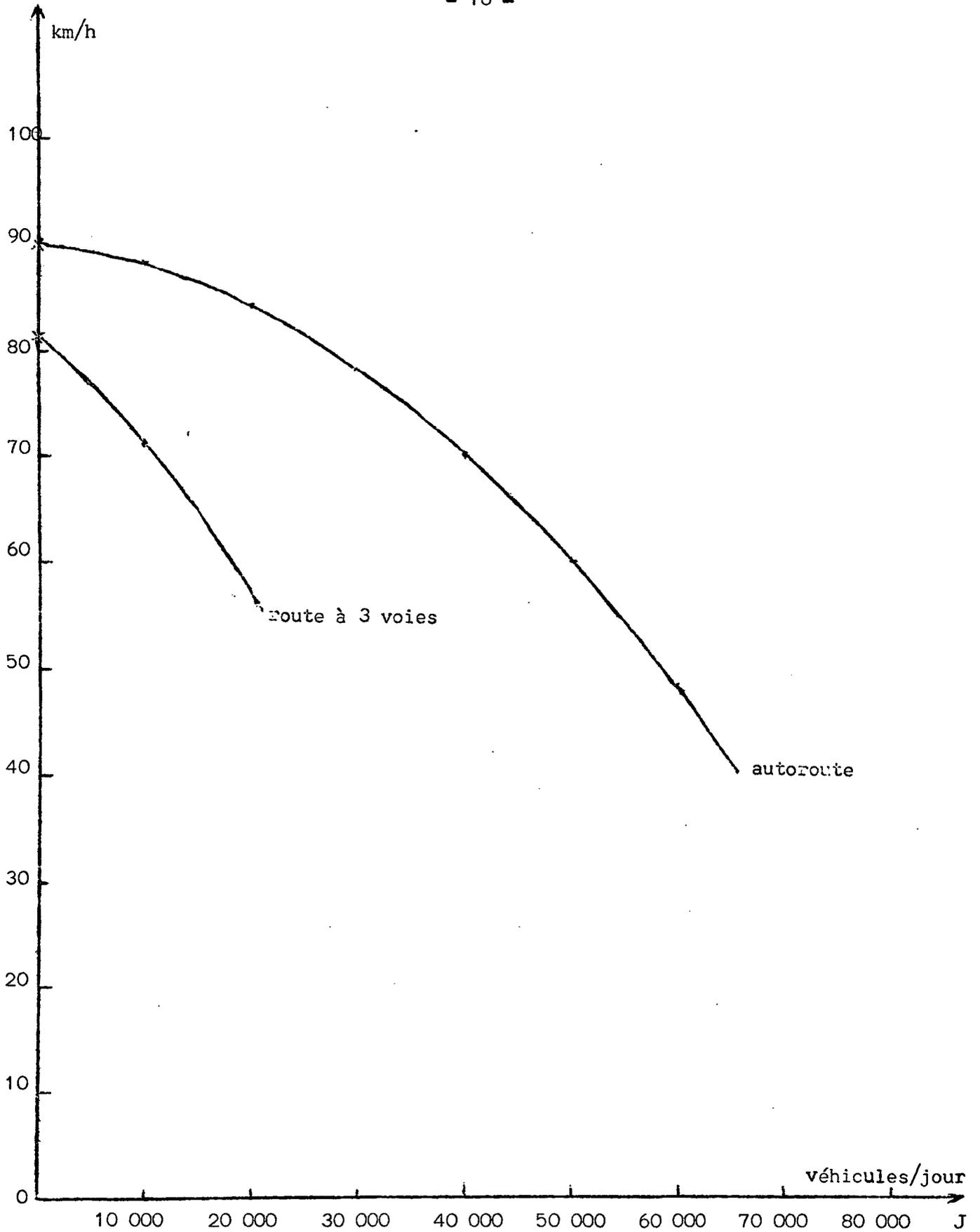


Fig. 4 : vitesse moyenne en fonction du trafic journalier moyen

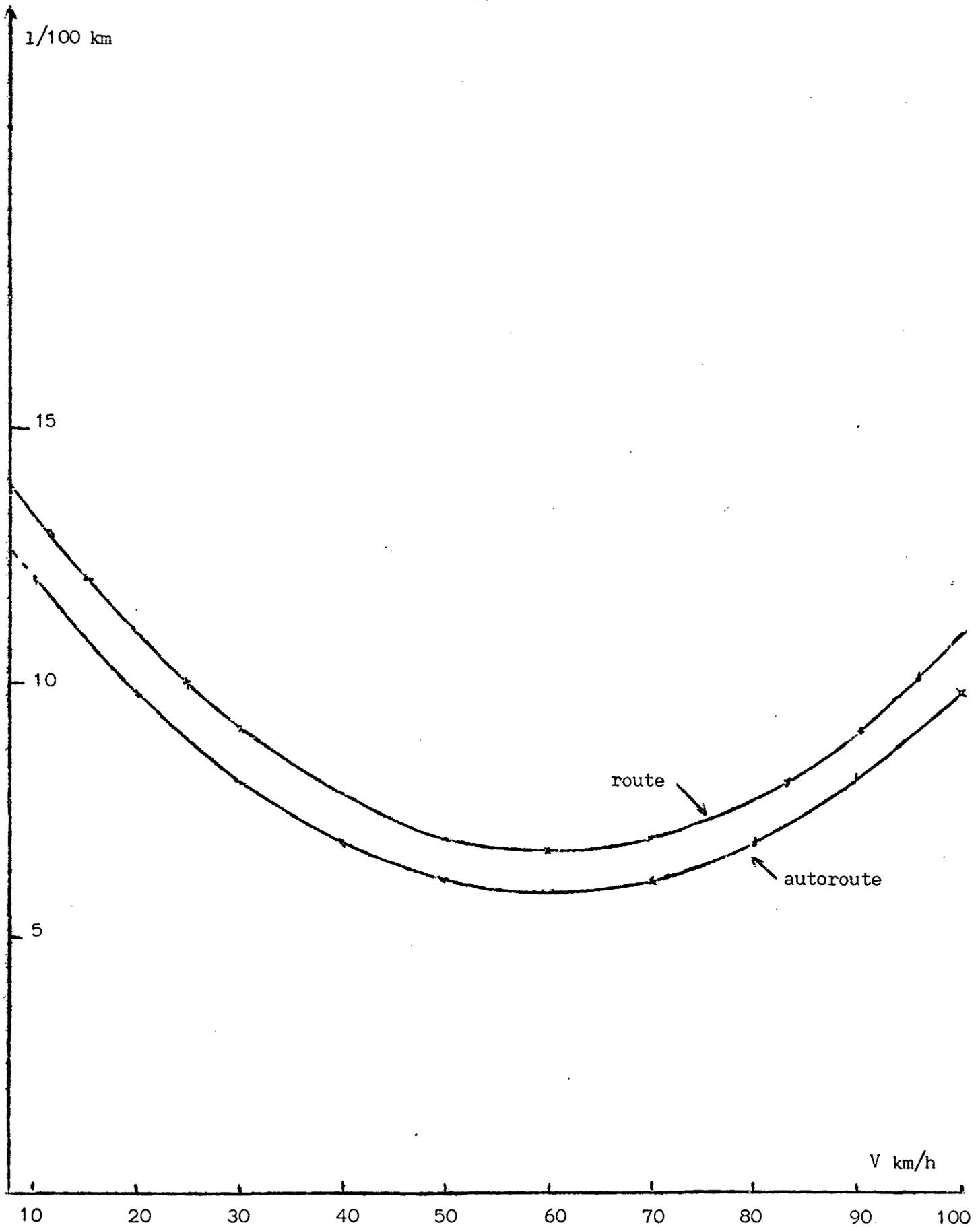


Fig. 5 : consommation moyenne en fonction de la vitesse moyenne.

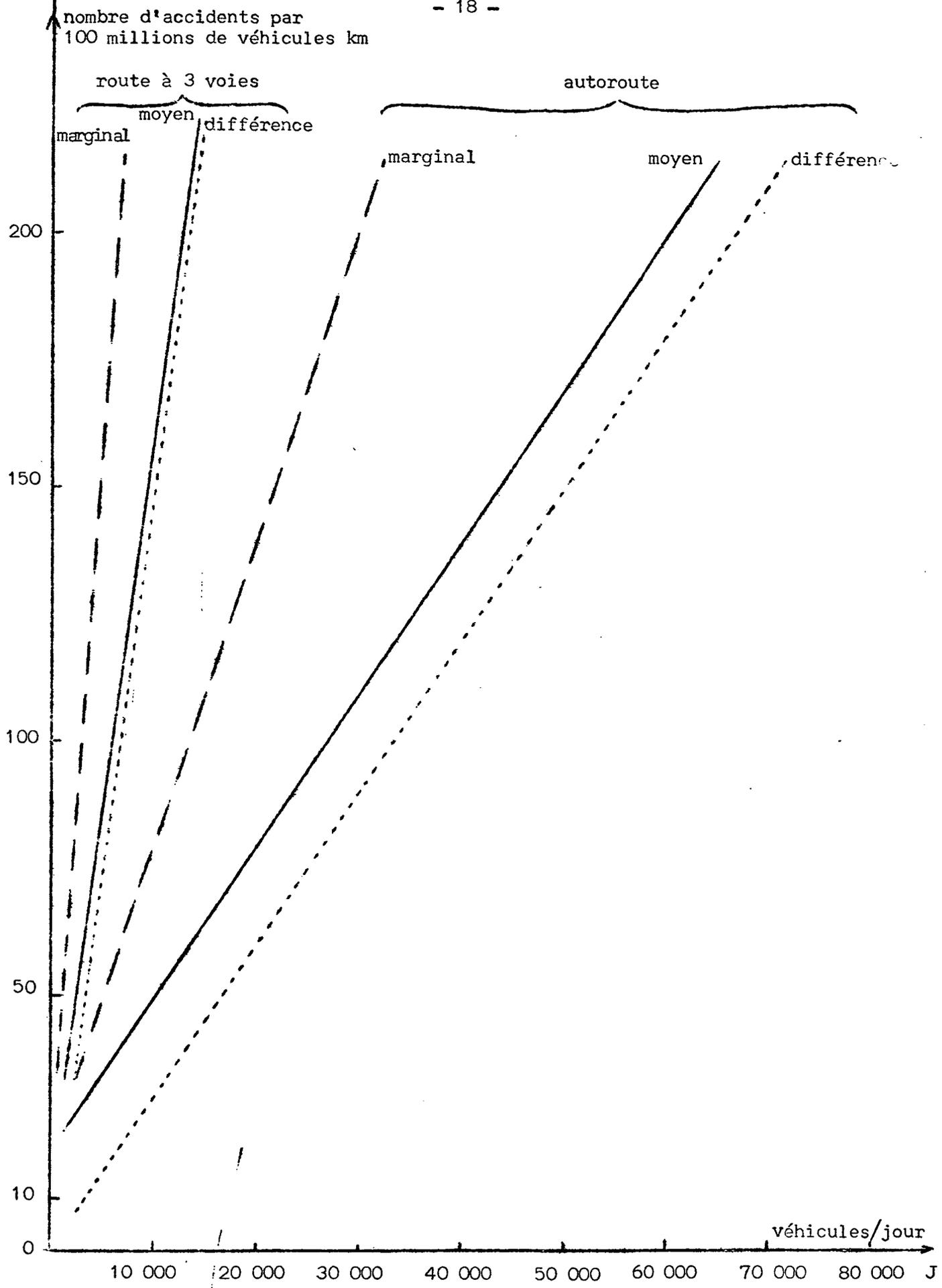


Fig. 6 : nombre moyen d'accidents en fonction du trafic journalier moyen.

Les études de rentabilité actuelles admettent que l'automobiliste ne tient pas compte des accidents, mais retiennent un coût moyen pour la collectivité de 30 000 F par accident, y compris une évaluation chiffrée des dommages corporels. Pour notre part, en première analyse, nous admettrons que ce chiffre influence également les comportements individuels, ce qui se justifie à notre avis par la part importante de "pretium doloris" qui y est incluse.

Dans ces conditions, si on appelle T la valeur du temps, E et e la valeur de l'essence respectivement pour l'automobiliste et pour la collectivité, et A le coût moyen d'un accident, le coût moyen de parcours pour un automobiliste sera en l'absence de péage (en négligeant les frais fixes), avec $t = \frac{1}{V}$:

$$d = Tt + Ec + Aa \quad *$$
 (4)

Dans les mêmes conditions, le coût global pour la collectivité sera le suivant, si J est le trafic journalier (on a admis que les caractéristiques de tous les véhicules étaient les mêmes) :

$$D = J (Tt + ec + Aa)$$
 (5)

A noter que l'on a introduit dans la formule (5) le prix normal e de l'essence, soit 0,35 F/l, alors que dans la formule (4) intervenait le prix E payé par l'automobiliste, soit 1 F/l.

Le coût marginal pour la collectivité lié à l'introduction sur l'autoroute d'un véhicule supplémentaire est ainsi :

$$m = \frac{\partial D}{\partial J} = T \frac{\partial Jt}{\partial J} + e \frac{\partial Jc}{\partial J} + A \frac{\partial Ja}{\partial J}$$
 (6)

Jt est le temps total passé par les automobilistes sur l'autoroute. Sa dérivée que l'on peut appeler temps marginal, représente l'accroissement de ce temps total, dû à l'introduction d'un véhicule supplémentaire sur l'autoroute. Le temps marginal est la somme du temps t passé sur l'autoroute par ce véhicule, et du temps supplémentaire $J \frac{\partial t}{\partial J}$ passé par les autres véhicules. La figure 7.

* le terme Aa n'existerait pas dans la formule si l'on considérait les automobilistes comme inconscients du risque d'accidents. Cela ne changerait rien au raisonnement et modifierait peu les résultats, car ce terme n'est pas prépondérant.

représente en fonction de J le temps moyen t^* , le temps marginal $\frac{\partial Jt}{\partial J}$, et la différence $J \frac{\partial t}{\partial J}$. La différence est nulle ou faible pour les trafics faibles, pour lesquels il n'y a pas d'interaction, puis augmente rapidement pour dépasser le temps moyen aux environs de 50 000 véhicules par jour. Ceci veut dire que pour un tel trafic, un automobiliste circulant en moyenne à 60 km/h, fait perdre aux autres automobilistes par sa présence autant de temps qu'il en perd lui-même à circuler. Pour 65 000 véhicules/jour, la vitesse moyenne étant 40 km/h, la perte de temps infligée aux tiers est double du temps moyen. Ceci montre combien est fausse l'assertion suivant laquelle les embouteillages assureraient une autorégulation efficace du trafic : le temps perdu par un automobiliste dans un embouteillage est très inférieur au temps marginal qui lui est imputable.

La figure 6 montre de même en fonction du trafic le nombre moyen d'accidents, le nombre marginal (en espérance mathématique), et la différence qui augmente linéairement à partir de 0, compte tenu de la forme de la fonction a^* qui a été retenue.

Enfin, la figure 8 montre en fonction du trafic la consommation moyenne, la consommation marginale, et la différence. On remarquera que la consommation moyenne diminue jusqu'à 50 000 véhicules/jour, trafic correspondant à 60 km/h. Ceci n'est pas aberrant car la vitesse désirée, estimée ici à 90 km/h, résulte en principe d'un arbitrage entre la consommation d'essence, la sécurité et le gain de temps. Il en résulte que pour un trafic inférieur à 50 000 véhicules/jour, la consommation marginale est inférieure à la consommation moyenne, et la différence est négative.

* tout ce qui suit n'est quantitativement valable que dans le cas particulier de la fonction V retenue ci-dessus.

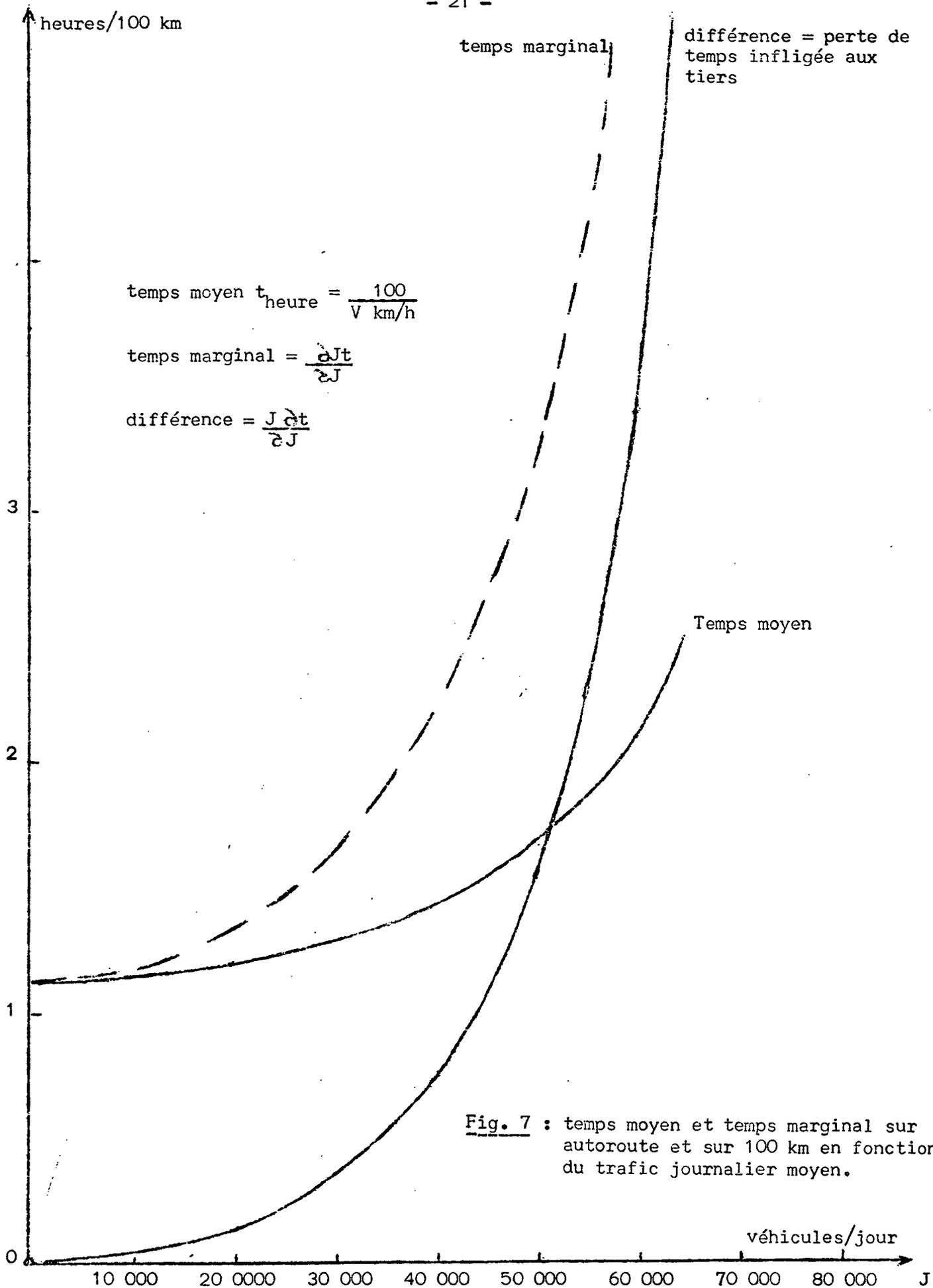


Fig. 7 : temps moyen et temps marginal sur autoroute et sur 100 km en fonction du trafic journalier moyen.

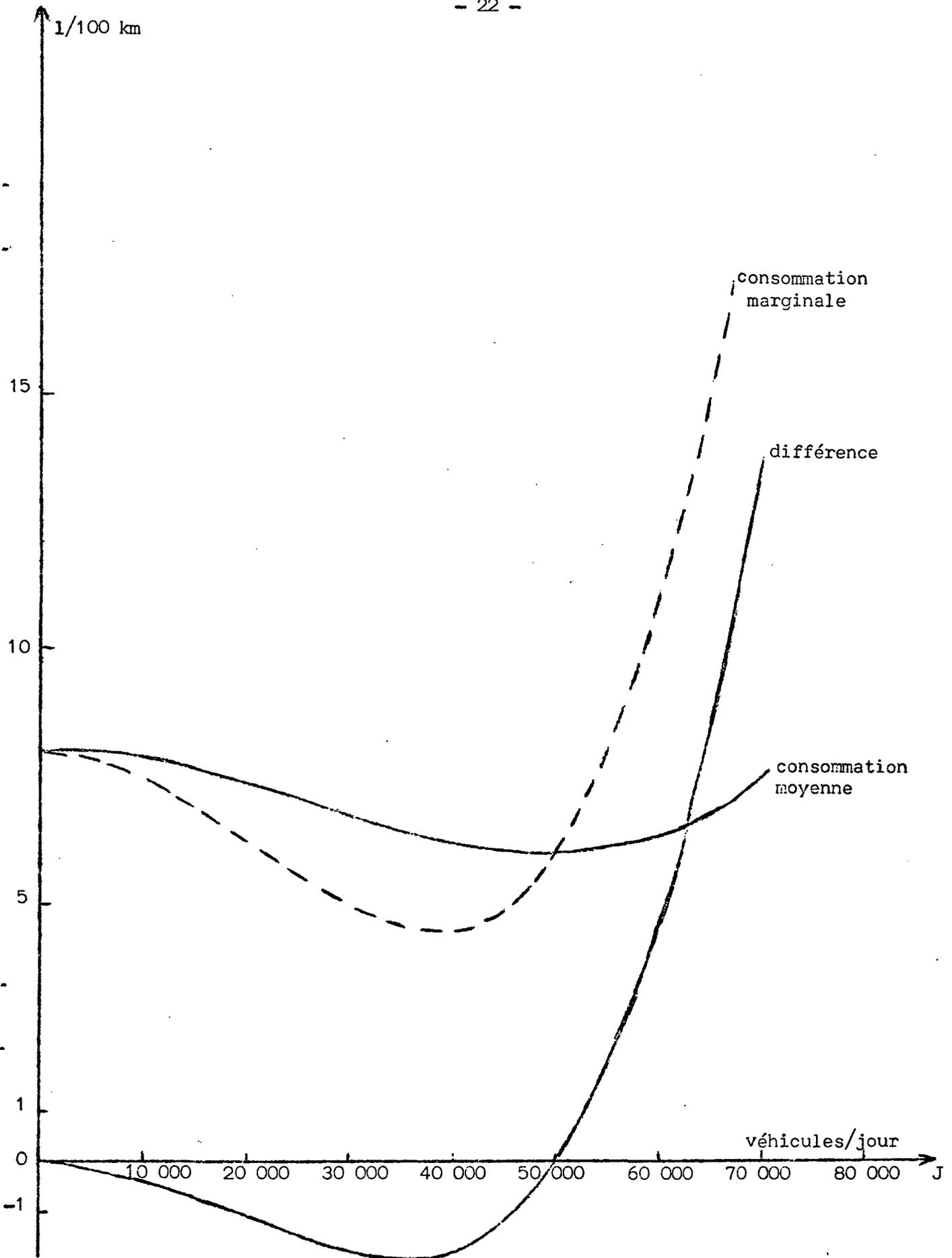


Fig. 8 : consommation moyenne et consommation marginale sur autoroute en litres aux 100 km en fonction du trafic journalier moyen.

Ceci posé, le péage optimal p doit être tel que le coût total de circulation d'un automobiliste $p + d$ soit égal au coût marginal $\frac{\partial D}{\partial J}$: $p + d = \frac{\partial D}{\partial J}$ (7)
soit, compte tenu de (4) et (6) :

$$p = \frac{\partial D}{\partial J} - d = J \left(T \frac{\partial t}{\partial J} + e \frac{\partial c}{\partial J} + A \frac{\partial a}{\partial J} \right) - (E - e) c \quad (8)$$

Sur la figure 9 on a inscrit les courbes de variation du coût moyen d et du coût marginal $\frac{\partial D}{\partial J}$, et de leur différence qui représente le péage à pratiquer, en fonction du trafic. On remarquera que le péage est d'abord négatif, et ne devient positif qu'à partir de 30 000 véhicules/jour : l'expression (8) montre en effet que pour un trafic nul le coût moyen excède le coût marginal d'une quantité égale à la surtaxe sur l'essence, soit environ 5 centimes/km. On a d'ailleurs représenté en pointillé le péage théorique à pratiquer dans le cadre des hypothèses admises ici, dans le cas où il n'y aurait pas de surtaxe sur l'essence ($E = e$). On obtient alors, comme prévu, une courbe qui part de 0 pour un trafic nul, et croît régulièrement.

Pour les trafics élevés, l'incidence relative de la surtaxe sur l'essence s'estompe, et on trouve dans les deux cas une courbe qui croît rapidement. Finalement, la détermination du péage optimal à pratiquer en face d'une demande donnée, pour une infrastructure donnée, ne se fait plus en prenant l'intersection de la courbe de demande et d'une courbe de coût marginal à branche verticale ; elle doit se faire, compte tenu de la relation (7), en prenant l'intersection de la courbe de demande généralisée reliant la demande de trafic au coût global $p + d$ ressenti par l'utilisateur*, et de la courbe de coût marginal généralisé $\frac{\partial D}{\partial J}$. On remarquera que si l'abscisse du point d'intersection donne le trafic optimal, le péage n'est pas donné par l'ordonnée du point d'intersection, mais par celle du point de même abscisse situé sur la courbe de péage**. La figure 9 donne des exemples de courbe de demande : à la courbe (1) correspond un trafic optimal $ON_1 = 40\ 000$ véhicules/jour correspondant à une vitesse de 70 km/h et un péage optimal $N_1B_1 = C_1M_1 = 5$ centimes par km. En l'absence de péage, le point de fonctionnement serait déterminé par la courbe de coût moyen et serait donc D_1 avec 50 000 véhicules par jour et 60 km/h.

*Rappelons que nous n'y avons pas inclus les coûts kilométriques fixes qui interviennent de la même manière dans le coût moyen et dans le coût marginal.

**Ceci est dû au fait que le péage n'est qu'un élément du coût de circulation.

A la courbe de demande (2) correspond un trafic optimal $ON_2 = 20\ 000$ véhicules/jour et un péage optimal $N_2B_2 = C_2M_2 = - 2$ centimes par km. En d'autres termes, l'utilisation optimale de l'autoroute serait obtenue dans ce cas en donnant deux centimes par km aux automobilistes qui voudraient bien circuler sur l'autoroute ! Si on n'institue pas de péage, le trafic sera défini par le point D_2 d'intersection de la courbe de demande et de la courbe de coût moyen, avec 17 000 véhicules/jour. Et si on impose un péage de 5 centimes par km, le point de fonctionnement sera le point E_2 de la courbe de demande défini par $F_2E_2 = 5$ centimes par km* ; en ce point le trafic serait seulement de 10 000 véhicules/jour.

Les résultats auxquels nous venons de parvenir ne sont valables, rappelons le, qu'en négligeant les objections c, d, e, et notamment l'objection d, relative à l'imperfection de l'environnement**, c'est à dire qu'ils ne seraient valables en toute rigueur, que si une tarification analogue était pratiquée sur toutes les routes. Nous allons voir que la prise en compte de l'évasion de trafic modifie notablement les conclusions ci-dessus. Mais auparavant, nous allons étudier l'objection c relative au coût de perception des péages.

* On a d'ailleurs tracé sur la figure 9 la courbe d'offre dans le cas où il y a un péage uniforme de 5 centimes/km. Cette courbe se déduit de la courbe de coût moyen par une translation de 5 centimes/km vers le haut ; elle passe par les points E_2 et M_1 .

** A l'exception de la surtaxation de l'essence, dont nous avons déjà tenu compte.
.../...

c) coût de perception des péages

Dans tous les domaines le coût de perception crée des limitations à l'application d'une tarification strictement calquée sur le coût marginal. Ainsi dans le domaine de l'électricité, s'il y a théoriquement intérêt à ce que tous les consommateurs aient des tarifs différenciés suivant les heures, cela n'est pratiquement pas intéressant pour les petits consommateurs étant donné le coût des compteurs à plusieurs cadrans. Qui plus est, pour l'eau potable, il n'est même pas certain qu'il y ait intérêt à pourvoir les abonnés domestiques d'un compteur individuel, étant donnée notamment, la faible valeur des consommations d'eau comparée au coût des compteurs.

Nous allons voir comment se pose la question dans le cas des autoroutes et quelle méthode on doit utiliser pour y répondre.

L'influence du péage sur la fonction de production de l'autoroute est multiple : d'une part, il nécessite des installations spéciales servies par un personnel important et un certain nombre de modifications dans la conception même de l'autoroute et des ouvrages de raccordement au réseau traditionnel *, d'autre part, il oblige l'automobiliste à s'arrêter et repartir, et éventuellement à prendre une file d'attente, ce qui modifie la qualité du service.

Nous ne tiendrons compte ici que du premier phénomène, mais il est clair que la méthode suivie ici permet aisément de tenir compte également du second.

D'après ((5)), le coût de construction d'une autoroute de liaison à 2 x 2 voies est 3 500 000 F/km s'il n'y a pas de péage et 3 650 000 F/km s'il y a des postes de péage. Les frais d'entretien actualisés sont 200 000 F/km plus, le cas échéant, 150 000 F/km pour l'exploitation des postes de péage. Le coût total actualisé des postes de péage est donc 300 000 F/km, soit 8 % du coût de l'autoroute, ce qui donne pour un taux d'intérêt de 7 % une annuité de 21 000 F/km. Dans ((3)), on cite par contre un taux de majoration de 15 %. Le taux effectif n'a pas d'import-

* Il s'agit du système de péage dit "fermé", qui ne laisse échapper aucun trafic. Le système dit "ouvert", où les postes de péage sont installés sur l'autoroute elle-même (cas de l'autoroute du Sud par exemple) est plus économique, mais permet à une partie du trafic d'échapper au péage.

tance ici pour notre étude méthodologique, qui pourrait d'ailleurs s'appliquer également au cas des compteurs individuels envisagés par exemple dans ((3)).

Théoriquement, pour savoir si l'installation des postes de péage est rentable, l'on doit comparer leur prix de revient aux avantages qu'ils procurent en permettant une tarification rationnelle. Ceci implique donc en principe que la tarification optimale ne soit pas négative ou nulle.

Supposons donc que nous soyons dans le cas de la courbe de demande ^① de la figure 9, pour laquelle nous avons vu que, sous réserve des hypothèses faites, que nous admettrons pour l'instant, le péage optimal était 5 centimes par km, et le trafic optimal 40 000 véh./j. En l'absence de péage, le trafic passe au niveau de 50 000 véhicules par jour, pour lequel le coût marginal est représenté par l'ordonnée de A_1 . Pour tout ce trafic supplémentaire, le coût marginal pour la collectivité représenté par l'ordonnée moyenne de la portion M_1A_1 de la courbe de coût marginal, est supérieur à la valeur du service pour les usagers, représentée par l'ordonnée moyenne de la portion M_1D_1 de la courbe de demande.

On peut montrer que la perte économique L^* due à l'absence de péage est égale à la surface du triangle $M_1D_1A_1$ (hachuré sur la figure) ou encore, $P = P(J)$ étant l'équation de la courbe de demande :

$$L = \int_{J_1}^{J_2} (m - P) dJ \quad (9)$$

La perte étant nulle ainsi que sa dérivée pour le péage optimal, on peut considérer en première approximation qu'elle est proportionnelle au carré de ce péage. On peut d'ailleurs écrire, ΔJ étant l'accroissement de trafic dû à l'absence de péage, et m' , d' , P' étant les pentes des courbes de coût marginal, coût moyen et demande :

$$L \sim \frac{1}{2} (m' - P') \Delta J^2 \quad (10)$$

Le triangle $M_1C_1D_1$ permet de relier ΔJ au péage optimal p :

$$p \sim (d' - P') \Delta J$$

* Il s'agit bien de la perte économique pour la collectivité dans son ensemble, c'est à dire, la répartition des revenus étant supposée optimale, la variation du revenu national à prix constants. Elle n'a rien à voir avec la variation de revenu de l'entreprise exploitant l'autoroute qui est un simple transfert et disparaît dans l'addition (voir la partie e plus loin) .../...

D'où, en introduisant l'élasticité de la demande $e = -\frac{1}{p'}$

$$L \approx \frac{ep^2}{2} \frac{1+em'}{(1+ed')^2} \quad (11)$$

Il suffit de comparer la perte à l'annuité correspondant aux postes de péage pour déterminer s'il est effectivement rentable de les installer. On peut ainsi déterminer, pour une valeur donnée de l'élasticité de la demande, un niveau minimum du péage en deça duquel il vaut mieux ne pas le percevoir. Si l'élasticité de la demande est nulle, la perte est nulle puisque le trafic est inchangé. Si l'élasticité de la demande est celle de la courbe ① soit environ 3 000 véhic./jour par centime, avec les valeurs moyennes $m' = 6$ centimes pour 10 000 véhicules/jour et $d' = 2$ centimes pour 10 000 véhicules/jour, tirées de la figure 9, on trouve après multiplication par 3,65 pour obtenir la perte annuelle en francs :

$$L(\text{F/km}) = 6\,000 p^2 (\text{cent./km})$$

Sur ces bases, l'installation de postes de péage coûtant 21 000 F/km par an ne serait économiquement rentable que si $p > \sqrt{\frac{21\,000}{6\,000}} \approx 2$ cent./km, c'est-à-dire d'après la figure 9, si le trafic est supérieur à 35 000 véhicules/jour. C'est effectivement le cas pour la courbe de demande ① pour laquelle le péage optimal vaut 5 cent./km et la perte due à l'absence de péage $6\,000 \times 5^2 = 150\,000$ F/an

Dans le cas général où le trafic augmente dans le temps, la méthode ci-dessus permet de déterminer aisément la date optimale de début de perception des péages*.

* Dans la réalité, il faudrait faire intervenir le fait qu'une partie des investissements nécessités par le péage doivent être réalisés en même temps que l'autoroute, même si le péage n'est pas perçu immédiatement.

Dans le cas de la courbe (2), où le péage optimal est négatif, l'absence de péage entraîne une perte représentée par la surface du triangle $M_2 D_2 A_2$. Par rapport à l'absence de péage, le péage de 5 centimes entraîne une perte supplémentaire représentée par le quadrilatère hachuré $D_2 A_2 G_2 E_2$, à laquelle il faut ajouter le coût des postes de péage pour obtenir la perte économique totale due au péage.

d) gratuité des routes

Les autoroute ne sont qu'une forme particulière de routes, mieux adaptée à la circulation automobile que les routes traditionnelles où coexistent des trafics de nature et de direction très différentes, mais ne remplissant pas des fonctions fondamentalement différentes des routes, dont elles constituent le complément indispensable à partir d'un certain niveau de trafic. L'autoroute et la route sont ainsi bien souvent des infrastructures complémentaires qui s'adressent au même trafic, et l'on peut donc prévoir que le fait de privilégier l'une par rapport à l'autre sous l'angle de la tarification crée des pertes économiques.

Nous allons d'abord examiner comment les résultats obtenus ci-dessus quant au péage optimal doivent être modifiés pour tenir compte de l'imperfection de l'environnement due à la gratuité des routes, ou plus exactement à l'absence de péage sur les routes, en dehors de la surtaxation de l'essence.

Pour bien faire apparaître les implications de la question, nous nous placerons délibérément dans le cas où il existe sur un itinéraire de liaison donné, une route à 3 voies de 9 m et une autoroute à 4 voies parallèle et de même longueur, le trafic total se répartissant entre ces deux itinéraires uniquement en fonction des coûts. Il va de soi que la méthode appliquée ici, s'appliquerait à n'importe quel cas plus complexe : on pourrait faire intervenir par exemple le trafic local et l'existence de plusieurs itinéraires de détourne-

ment ; le cas simplifié retenu ici a l'avantage de se prêter à une représentation graphique simple, tout en permettant d'obtenir des résultats assez généraux.

Noùs devons tout d'abord préciser les bases de calcul du coût de circulation sur la route à 3 voies** :

$$\text{vitesse } V_{\text{km/h}} = 81 - 0,73 \cdot 10^{-3} J - 26,7 \cdot 10^{-9} J^2 \quad (12)$$

$$\text{essence } c \text{ l/100 km} = 16,2 - 0,32 V + 2,67 \cdot 10^{-3} V^2 \quad (13)$$

$$\text{accidents } a \text{ accidents par 100 millions de véhicules km} = 10 + 15 \cdot 10^{-3} J \quad (14)$$

Les courbes représentatives de ces fonctions sont représentées sur les figures 4, 5 et 6. On voit que la consommation d'essence sur autoroute est supposée, pour une même vitesse moyenne, inférieure de 10 % à la consommation sur route. On notera, comme pour l'autoroute, que la formule (12) ne s'applique pas au-delà d'un certain trafic.

Comme on l'a fait ci-dessus pour l'autoroute, on peut déduire des relations ci-dessus la variation avec le trafic du coût moyen d_r et du coût marginal m_r de circulation. Ces courbes sont représentées en haut et à gauche de la figure 10. On a également représenté le péage optimal à pratiquer sur une telle route, qui est égal à la différence entre le coût marginal et le coût moyen : il est négatif jusqu'à 8 000 véhicules/jour et positif au-delà, et a la même allure que le péage optimal de l'autoroute. On a représenté également sur la figure 10 les mêmes éléments relatifs à l'autoroute, déjà obtenus sur la figure 9, en y affectant l'indice a, ainsi que la courbe de demande (1).

La répartition du trafic entre les deux itinéraires concurrents est supposée ici se faire de telle manière que les coûts individuels soient égaux sur la route et sur l'autoroute. Ayant supposé en effet que l'on avait affaire à une seule catégorie d'automobilistes, ayant le même comportement, nous n'avons pas à faire intervenir de courbe d'affectation reliant la répartition du trafic à la différence ou au rapport des coûts individuels***.

* Les deux premières relations sont tirées de ((7)). En ce qui concerne le nombre d'accidents, la formule 14 est arbitraire, et ne s'applique par pour $J < 1\ 000$.

*** On pourrait faire intervenir une distribution aléatoire des coûts, mais cela compliquerait l'exposé sans conduire à des résultats très différents. Voir à ce sujet ((1)) où l'auteur recherche le niveau de péage conduisant à la recette maximale pour le gestionnaire, improprement appelé péage optimal. .../...

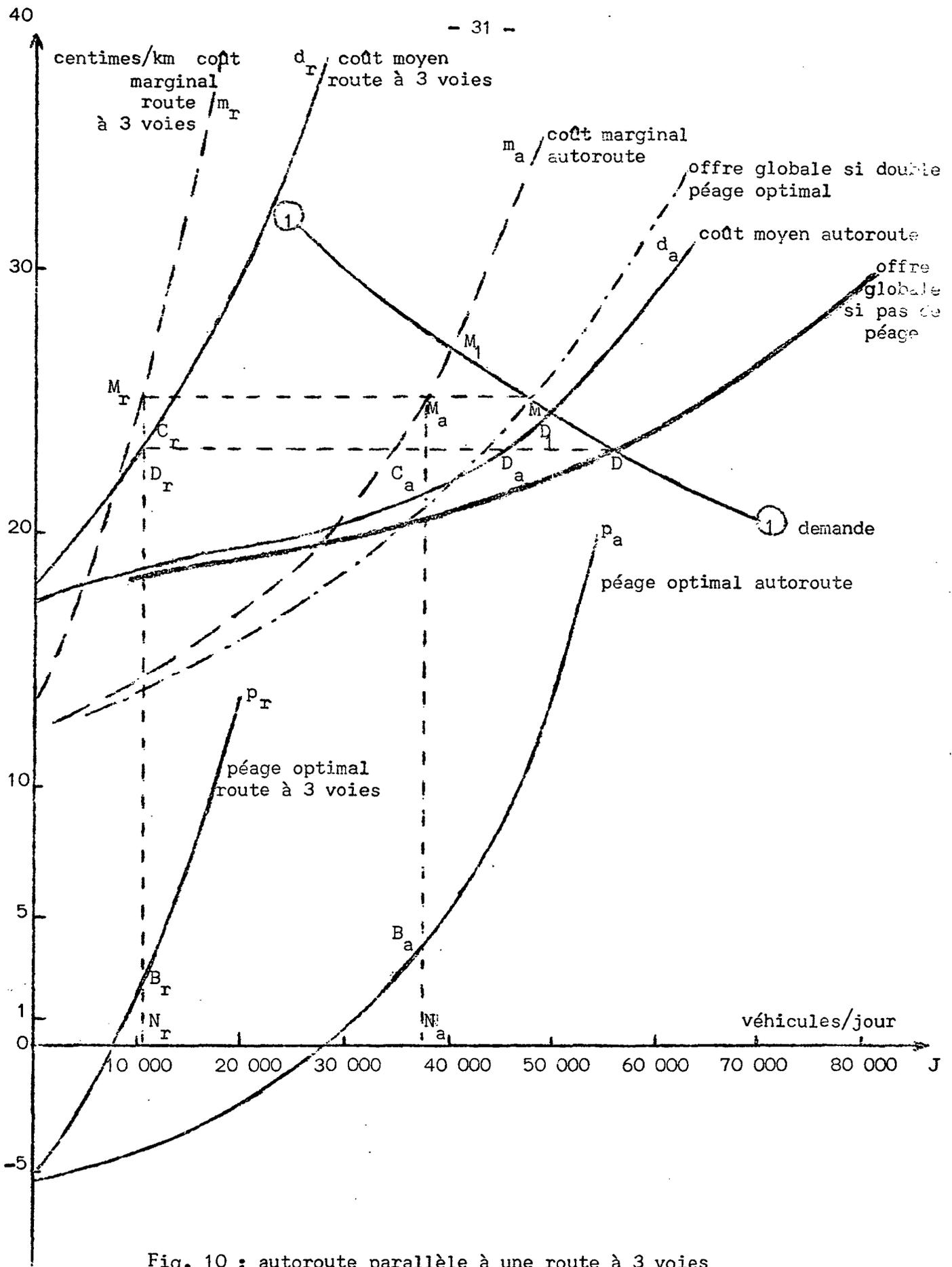


Fig. 10 : autoroute parallèle à une route à 3 voies

Ainsi, si la demande de trafic est représentée par la courbe (1), nous avons vu que si l'autoroute absorbe tout le trafic, celui-ci serait 50 000 véh/j en l'absence de péage (point D_1), et 40 000 véh/j dans le cas du péage optimal qui vaut précisément 5 cent/km (point M_1).

Cherchons maintenant la répartition du trafic compte tenu de l'existence de la route parallèle. Cette répartition dépend bien entendu de l'importance des péages éventuels, lesquels s'ajoutent aux coûts individuels.

Supposons donc tout d'abord qu'il n'y a pas du tout de péage. Les courbes d'offre sont alors représentées par les courbes de coût moyen, et la répartition du trafic se fait donc de manière à ce que les coûts moyens d_r et d_a soient égaux. A une valeur donnée P de ce coût commun correspondent ainsi des trafics J_a et J_r déterminés par l'intersection de l'horizontale d'ordonnée P et des courbes d_a et d_r . La courbe d'offre de trafic global $J(p) = J_a(p) + J_r(p)$ sera donc obtenue en ajoutant parallèlement à l'axe des abscisses les deux courbes de coût moyen d_a et d_r . L'intersection D de cette courbe représentée en trait épais sur la figure 10 et de la courbe de demande donne le trafic global sur la liaison en l'absence de péage, qui est égal à 56 000 véhicules/jour. L'horizontale passant par D coupe les courbes d_r et d_a aux points D_r et D_a dont les abscisses sont les trafics de la route et de l'autoroute, soit 10 000 véhicules/jour sur la route et 46 000 véhicules/jour sur l'autoroute.

Supposons maintenant qu'il y a des péages sur la route et l'autoroute, aux niveaux déterminés précédemment. Les courbes d'offre sont alors représentées par les courbes de coût marginal m_r et m_a , et un raisonnement analogue à celui fait ci-dessus montre que l'offre globale s'obtient en ajoutant horizontalement ces deux courbes. L'intersection M de cette courbe, représentée en traits mixtes sur la figure 10, et de la courbe de demande, donne le trafic global sur la liaison dans le cas du double péage optimal, qui est 48 000 véhicules/jour, dont 10 500 sur la route (abscisse de M_r et de N_r) et 37 500 sur l'autoroute (abscisse de M_a et de N_a). Les péages à pratiquer sont $C_{rM} = N_{rB} = 2$ centimes/km sur la route et $C_{aM} = N_{aB} = 3,8$ centimes/km sur l'autoroute.

Pour examiner ce qui se passe quand il y a un péage sur l'autoroute seulement, nous allons tout d'abord nous placer dans le cas où le péage est fixé

à 5 centimes/km. La courbe d'offre de l'autoroute est alors représentée par la courbe $d_a + p$ de la figure 11, obtenue en ajoutant 5 centimes/km aux ordonnées de la courbe d_a . La courbe d'offre de la route étant toujours d_r , la courbe de l'offre globale s'obtient donc en ajoutant les abscisses des courbes $d_a + 5$ et d_r . L'intersection E de cette courbe, représentée en trait épais sur la figure 11, et de la courbe de demande, donne un trafic global de 46 000 véhicules/jour. La répartition du trafic s'obtient comme précédemment en prenant les points E_r et E_a de même ordonnée P que E : on obtient 14 000 sur la route (abscisse de E_r) et 32 000 sur l'autoroute (abscisse de E_a). On remarquera que le trafic global est un peu plus faible que celui correspondant à l'optimum, mais que le trafic sur la route est par contre nettement supérieur.

L'ensemble des résultats obtenus est récapitulé dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU I

	trafic route J_r	trafic autoroute J_a	trafic total $J = J_r + J_a$	péage route	péage autoroute
<u>I Autoroute seule</u>					
- pas de péage	-	50 000	50 000	-	0
- péage optimal	-	40 000	40 000	-	+ 5
<u>II Autoroute+route à 3 voies</u>					
- pas de péage	10 000	46 000	56 000	0	0
- double péage optimal	10 500	37 500	48 000	+ 2	+ 3,8
- péage 5 sur autoroute	14 000	32 000	46 000	0	+ 5
- péage optimal sur autoroute	12 500	38 500	51 000	0	+ 3

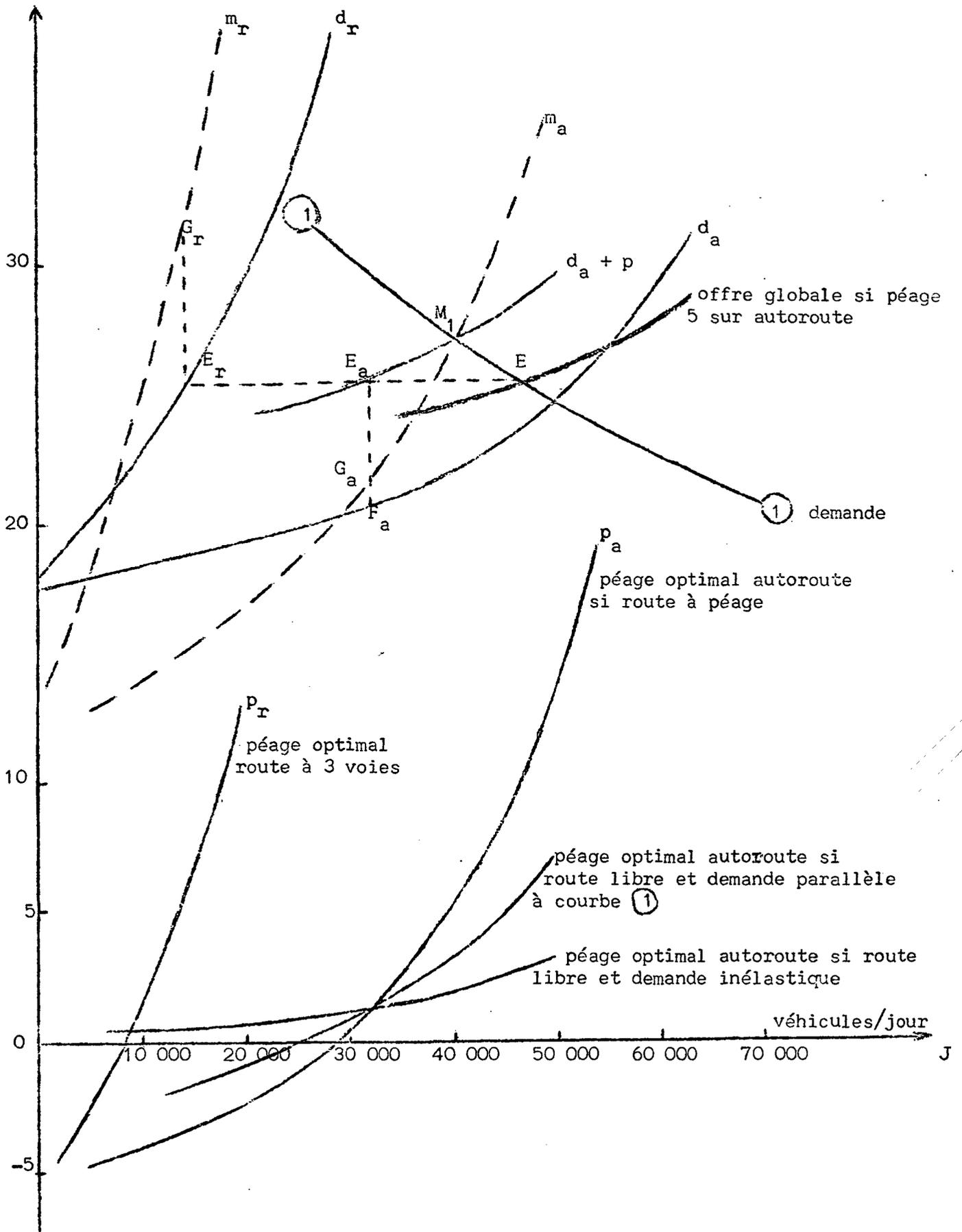


Fig. 11 : autoroute à péage et route sans péage

Pour déterminer le péage optimal, nous allons considérer une petite variation δp du péage. Celle-ci induit des variations δJ_a et δJ_r des trafics de l'autoroute et de la route. Le reste du secteur productif étant supposé géré de manière optimale, la variation d'utilité collective s'écrit alors sous la forme simple suivante, dans la mesure où la répartition des revenus est optimale :

$$\delta S = (P - m_a) \delta J_a + (P - m_r) \delta J_r \quad (15)$$

P est l'ordonnée commune des points E_a , E_r et E , définie par la courbe de demande. On a donc $P = P(J) = P(J_a + J_r) = d_r(J_r) = d_a(J_a) + p$ (16)

m_a et m_r sont les coûts marginaux sur l'autoroute et la route, correspondant aux trafics J_a et J_r . $P - m_a$ est donc représenté sur la figure 11 par le segment positif $\overline{G_a E_a}$, et $P - m_r$ est représenté par le segment négatif $\overline{G_r E_r}$.

Nous savons que δJ_a est de signe opposé à δp , une augmentation du péage diminuant le trafic sur l'autoroute. Nous savons également que δJ_r est de même signe que δp , une partie du trafic refluant vers la route. Il en résulte que dans les conditions de la figure 11 (péage de 5 centimes), l'expression δS donnée par (15) est de signe opposé à δp , et que l'on peut donc augmenter l'utilité collective en diminuant le péage. On aura le péage optimal*** quand δS se sera annulé, c'est-à-dire quand :

$$\delta S = (P - m_a) \delta J_a + (P - m_r) \delta J_r = 0 \quad (17)$$

ou encore, compte tenu de (16) :

$$\delta S = (d_a + p - m_a) \delta J_a + (d_r - m_r) \delta J_r = 0 \quad (18)$$

Mais $m_a - d_a = \overline{F_a G_a}$ représente, comme nous l'avons vu précédemment, le péage optimal p_a qu'il faudrait pratiquer si l'environnement était parfait. De même $m_r - d_r = \overline{E_r G_r}$ est le péage optimal p_r . On peut donc écrire :

$$\delta S = (p - p_a) \delta J_a - p_r \delta J_r = 0 \quad (19)$$

* On notera que $P - m_a$ représente la différence entre le prix total du service pour l'utilisateur et son coût marginal pour la collectivité, appelée quelquefois "péage" dans la littérature économique. Il va de soi que cette différence n'a rien à voir avec le péage au sens où nous l'entendons ici puisqu'aussi bien nous avons montré précédemment que le péage optimal était tel que cette différence soit nulle. Les deux définitions concordent si on se restreint à ne pas considérer les dépenses de circulation des usagers (temps, essence, accidents...). Le prix pour l'utilisateur est alors égal au péage, et le coût marginal se limite à l'usure de la chaussée, que l'on peut négliger, ce qui fait que la différence est bien égale au péage.

*** Il s'agit bien entendu d'un sous-optimum lié par la condition d'absence de péage sur la route.

ou encore :

$$p = p_a + p_r \frac{\delta J_r}{\delta J_a} \quad (20)$$

Pour obtenir δJ_r et δJ_a , différencions les relations (16) où J_a et J_r sont fonctions du péage p . On obtient, avec des notations évidentes :

$$P'(\delta J_a + \delta J_r) = d'_r \delta J_r = d'_a \delta J_a + \delta p \quad (21)$$

appelons e l'élasticité de la demande définie par $e = - \frac{dJ}{dP} = - \frac{1}{P'}$

il vient :

$$\frac{\delta J_a}{\delta p} = - \frac{1 + ed'_r}{d'_r + d'_a - ed'_a d'_r} \quad (22)$$

et :

$$\frac{\delta J_r}{\delta p} = \frac{1}{d'_r + d'_a - ed'_a d'_r} \quad (23)$$

d'où :

$$\frac{\delta J_r}{\delta J_a} = \frac{-1}{1 + ed'_r} \quad (24)$$

$e = - \frac{dJ}{dP}$ et d'_r sont des quantités positives*, d'où il résulte comme on pouvait s'y attendre que δJ_r est inférieur en valeur absolue à δJ_a . Partant la relation trouvée dans (20) on obtient finalement :

$$p = p_a - \frac{p_r}{1 + ed'_r} \quad (25)$$

Le péage optimal en l'absence de péage sur la route est donc la différence entre le péage théorique p_a à pratiquer si la route était à péage et une fraction du péage théorique p_r à pratiquer sur la route. Il est donc fonction à la fois des caractéristiques de l'environnement (route parallèle), et de l'élasticité de la demande globale.

* $d'_r = \frac{dd_r}{dJ_r}$ est la pente de la courbe de coût moyen d_r .

Si l'élasticité e de la demande de trafic global est nulle, on a alors $p = p_a - p_r$. La courbe correspondante est tracée, en fonction du trafic J_a utilisant l'autoroute, sur la figure 11. On constate que le péage p reste toujours positif et varie beaucoup moins rapidement que p_a puisqu'il n'atteint que 3 cent./km pour 50 000 véh/j.

On a également représenté sur la figure 11 la variation du péage avec le trafic J_a quand l'élasticité de la demande globale est celle de la courbe (1), soit environ 3 000 véhicules/jour par centime. d'_r étant voisin de 7 centimes pour 10 000 véhicules/jour, la relation (25) devient dans ce cas :

$$p = p_a - \frac{1}{3} p_r$$

Elle conduit à un péage assez peu différent de p_a , négatif jusqu'à 25 000 véhicules/jour et atteignant 7 centimes pour 50 000 véhicules/jour*.

On notera que les courbes de variation du péage coupent toutes la courbe de péage optimal au même point ($J_a = 32\ 000$). Ceci résulte du fait que le trafic correspondant sur la route ($J_r = 8\ 000$) correspond à l'intersection des courbes m_r et d_r , d'où il résulte que l'optimum absolu est atteint sans péage sur la route.

Pour la courbe de demande (1) elle-même, on trouve aisément que le péage optimal est $p = 3$ cent/km, correspondant à un trafic de 38 500 véh/jour sur l'autoroute et 12 500 sur la route, soit au total 51 000 véh/jour. Les péages optimaux correspondant à ces trafics sont $p_r = 4$ et $p_a = 4,3$ et l'on vérifie que l'on a bien $p = p_a - \frac{1}{3} p_r$. Ces trafics sont un peu supérieurs aux trafics optimaux, surtout sur la route (cf tableau I).

* Il faut noter que l'élasticité de la courbe (1) est sans doute plus grande que la réalité, s'agissant de la demande globale sur un itinéraire.

On peut aisément étendre les résultats de la partie c pour comparer le coût des postes de péage à la perte économique résultant de l'absence de péage. La perte s'évalue à l'aide de la formule suivante, dérivée de la formule (15), et qui se substitue à la formule (9) :

$$L = \int_{J_{a1}}^{J_{a2}} m_a dJ_a + \int_{J_{r1}}^{J_{r2}} m_r dJ_r - \int_{J_1}^{J_2} P dJ \quad (26)$$

Par rapport à l'optimum avec double péage, la perte peut encore s'écrire approximativement de la manière suivante, qui redonne la formule (10) quand on fait $\Delta J_r = 0$:

$$L \approx \frac{1}{2} m_r' \Delta J_r^2 + \frac{1}{2} m_a' \Delta J_a^2 - \frac{1}{2} P' \Delta J^2 \quad (27)$$

Cette formule permet de déterminer séparément la perte économique L_1 due à l'absence de péage sur la route et sur l'autoroute et la perte économique L_2 due à l'absence de péage sur la route seule, d'où par différence la perte cherchée. Dans le cas particulier étudié ici, on a approximativement :

$m_r' = 14$ centimes pour 10 000 véhicules/jour
 $m_a' = 6$ centimes pour 10 000 véhicules/jour
 $P' = - 3$ centimes pour 10 000 véhicules/jour

d'où, après multiplication par 3,65 pour transformer les centimes par jour en F/an, la valeur des ΔJ étant tirée du tableau I :

$$L_1 = \frac{3,65}{20\ 000} \times (14.500^2 + 6.8\ 500^2 + 3.8\ 000^2) = 115\ 000\ \text{F/an}$$

$$L_2 = \frac{3,65}{20\ 000} \times (14.2\ 000^2 + 6.1\ 000^2 + 3.3\ 000^2) = 15\ 000\ \text{F/an}$$

Il en résulte que l'absence de péage sur la route n'entraîne pas une grande perte économique ($L_2 = 15\ 000\ \text{F/an}$), si le sous-optimum correspondant à un péage de 3 cent/km sur l'autoroute est réalisé. Par contre, si l'autoroute est libre, la perte s'accroît de $L_1 - L_2 = 100\ 000\ \text{F/an}$, ce qui est nettement supérieur à l'annuité des postes de péage.

Bien entendu, le résultat serait inverse si la demande de trafic sur l'itinéraire était plus faible. Il est probable que la limite de 35 000 véh/jour trouvée précédemment est encore à peu près valable ici. .../...

e) répartition des revenus

Tout ce qui précède n'est rigoureusement valable que dans le cas où la répartition des revenus est optimale, c'est-à-dire quand on peut additionner toutes les variations de revenu des individus composant la collectivité quelle que soit leur classe sociale et leur région. Il résulte notamment de cette hypothèse que l'on n'a pas à se préoccuper des répercussions proprement financières des choix économiques puisqu'elles s'analysent finalement en simples transferts entre utilisateurs et contribuables, sous réserve des pertes économiques éventuelles dues aux imperfections inhérentes à tout système fiscal. Il ne nous est pas possible de nous étendre sur ces problèmes pour la solution desquels il n'existe pas encore de critère opérationnel, en particulier du fait que les autorités responsables des choix n'ont pas toujours une conscience très claire des objectifs qu'ils désirent poursuivre.

C O N C L U S I O N

La présente étude est tout à fait théorique et n'a pas la prétention d'avoir une portée générale et d'être applicable directement à tous les cas particuliers. Elle montre toutefois le grand danger qu'il y a à tenter d'appliquer directement des théorèmes économiques applicables dans certains cas à des problèmes concrets qui ne satisfont pas aux conditions d'applicabilité de ces théorèmes. Elle montre les précautions à prendre pour tirer de la théorie économique des résultats valables compte tenu des caractères particuliers du problème. Ces résultats dépendent largement du contexte. D'une manière générale, le péage sur une infrastructure donnée doit être d'autant plus élevé que le trafic est plus élevé. En l'absence d'évasion de trafic, le péage optimal est négatif pour les faibles trafics que l'on rencontre notamment sur les autoroutes de liaison, du fait des taxes spécifiques sur l'essence, et il est positif et très élevé pour les trafics intenses que l'on rencontre notamment sur les autoroutes urbaines au moment des pointes. Si l'évasion du trafic est possible, le péage à pratiquer, qui conduit à un sous-optimum, varie beaucoup moins avec le trafic que quand il n'y a pas d'évasion, et son niveau dépend des caractéristiques de l'infrastructure concurrente ainsi que de l'élasticité de la demande.

Enfin, les coûts inhérents à la perception des péages proprement dits sont tels qu'il peut être préférable, dans le cas où le péage optimal est faible, à renoncer à le percevoir.

Les aspects financiers de la question n'ont pas abordés ici. Il semble toutefois, compte tenu des conditions de congestion prévalant dans beaucoup de nos villes et à leur voisinage, que l'on pourrait obtenir un équilibre financier global d'une Agence France Routes (cf ((6))) sans avoir à pratiquer des péages très différents des péages optimaux, les bénéfices faits sur les autoroutes urbaines compensant les pertes faites sur les autoroutes de liaison.

En tout état de cause, l'adoption d'une politique de "vérité des prix" a été reconnue souhaitable par le Plan, mais elle ne doit pas se faire à sens unique.

B I B L I O G R A P H I E

- ((1)) ABRAHAM La répartition du trafic entre itinéraires concurrents. Réflexions sur le comportement des usagers. Application au calcul des péages. Revue Générale des Routes, N° 357 oct. 1961, pp 57-70
- ((2)) ABRAHAM et THOMAS Allocation optimale des ressources dans l'entreprise et la nation Dunod (à paraître prochainement)
- ((3)) Anonyme How to charge for city roads The economist 19 oct. 1963, p. 305
- ((4)) BOITEUX La vente au coût marginal dans un environnement imparfait Doc rone d'EDF 1951
- ((5)) BOZON et CHARMEIL La programmation des investissements routiers sur une liaison Revue Générale des Routes, N° 395 jan. 1965, pp. 119-41
- ((6)) BOZON et CHARMEIL L'instruction provisoire de la Direction des Routes sur l'exécution des calculs de rentabilité dans le cadre du Vème Plan. Résumé et commentaires. Revue Générale des Routes, N° 396 fev. 1965, pp. 56-70
- ((7)) DAVIS et WHINSTON Externalities, welfare, and the theory of games. Journal of political economy, N° 3 juin 1962, pp. 241-262
- ((8)) Ingénieurs des Ponts et Chaussées Le financement des autoroutes bulletin du PCM mars 1964 pp. 2-6
- ((9)) LESOURNE Le calcul économique Dunod, 1964
- ((10)) LEVY-LAMBERT Problèmes d'économie de l'entreprise. Dimensionnement et tarification d'un aqueduc. Dunod, 1965 problème N° X
- ((11)) LEVY-LAMBERT Etude sur la tarification des services à qualité-fonction de la demande. Bulletin du PCM mars 1965, pp. 27-33
- ((12)) LEVY-LAMBERT L'utilisation optimale des nappes souterraines. La houille blanche N° 3/1965, pp 231-237
- ((13)) LEVY-LAMBERT L'eau - abondance ou pénurie ? Une question d'organisation. Annales des Mines sept. 1964, pp. 7-32

- ((14)) BEADE External economies and diseconomies in a competitive situation Economic Journal
N° 245
mars 1952, pp. 54-67
- ((15)) NICHELET Financement et rentabilité des autoroutes Revue Générale des
Routes
N° 389
juin 1964, pp. 79-96
- ((16)) Ministère Cycle d'études. Rentabilité des travaux 1961-1962
des Travaux routiers
Publics
- ((17)) Ministère Instruction provisoire sur les calculs de septembre 1964
des Travaux rentabilité appliqués aux investissements
Publics routiers.
- ((18)) WALTERS The theory and measurement of private and Econometrica
social cost of congestion
octobre 1961
pp. 676-99