

CROISSANCE DES RESEAUX DE TRANSPORTS EN COMMUN DANS LES AGGLOMERATIONS FRANCAISES ET EFFICACITE DES POLITIQUES TARIFAIRES

Par O. HANAPPE, A. MEYERE et E. MINVIELLE * - CETUR

La croissance des réseaux de transports en commun a été importante dans les villes françaises de province au cours des dix dernières années.

Pour les villes de plus de 100 000 habitants cette croissance est intervenue à partir des années 1973-1974, date de l'extension à la province de l'obligation faite aux entreprises de plus de 9 salariés de verser aux collectivités locales 1 % de la masse salariale pour le développement des transports en commun. Dans les villes de moins de 100 000 habitants cette croissance est intervenue de manière plus exceptionnelle.

L'analyse des stratégies des agglomérations de plus de 100 000 habitants fait apparaître un très large éventail du jeu sur les tarifs et sur les niveaux de service offerts (1).

Ces stratégies dépendent des jeux politiques locaux. Elles sont complexes et renvoient à de nombreux aspects sociaux et culturels qui peuvent être appréciés de divers points de vue. Cependant il est apparu qu'on pouvait tenter une "mesure" parmi bien d'autres, de l'efficacité économique et sociale de ces diversités stratégiques : nous avons donc mis en relation l'augmentation de l'usage des transports en commun avec la diminution des tarifs et l'augmentation de l'offre qui avaient été pratiqués pour diverses périodes de temps par les différentes agglomérations.

"L'efficacité économique" a été mesurée par la détérioration du taux de couverture des réseaux (évolution du rapport Recette/Dépense). "L'efficacité sociale" a été mesurée en terme d'augmentation de l'usage.

Dans les deux cas il est apparu qu'il existait de bonnes corrélations pour des périodes de temps données entre les diverses évolutions pour l'ensemble des réseaux. Bien que ces analyses n'aient pas conduit à dégager des modèles pour l'avenir, leurs résultats permettent de conclure à l'efficacité sociale et économique des politiques tarifaires.

I - LA DETERIORATION DES TAUX DE COUVERTURE

Si U_t , P_t , K_t et C_t sont les niveaux à un instant t donné de l'usage, des tarifs, de l'offre et des coûts unitaires d'un réseau de transport en commun l'évolution du taux de couverture entre deux années 0 et 1, , peut se mesurer en termes d'évolution de

* Nous remercions M. MULOT du CETUR et M. THAURONT de l'IRT pour leur collaboration et leurs conseils efficaces en matière d'informatique.

(1) A. MEYERE CETUR : "Les politiques de promotion des TC et leurs effets - Analyse de quelques cas".

l'usage, de l'offre, des tarifs et des coûts.

$$= \tau \frac{\frac{U_1 \times P_1}{K_1 \times C_1}}{\frac{U_0 \times P_0}{K_0 \times C_0}} = \frac{U_1}{U_0} \times \frac{P_1}{P_0} \times \frac{K_0}{K_1} \times \frac{C_0}{C_1} = \tau' \times \tau''$$

$$\tau' = \frac{U_1}{U_0} \times \frac{P_1}{P_0} \times \frac{K_0}{K_1} \quad \tau'' = \frac{C_0}{C_1}$$

La détérioration des taux de couverture peut donc être mesurée à travers l'évolution de quatre facteurs usage, tarif, offre, coût pendant une période donnée. Celle-ci peut aussi être décomposée en un produit de deux termes τ' et τ'' .

En dehors de la détérioration due à l'augmentation des coûts unitaires τ'' qui peut être considérée comme exogène en première approximation, la détérioration τ' peut être analysée comme une insuffisance de l'usage aux incitations des politiques de transports en commun (diminution ou stabilisation des tarifs en francs constants, augmentation de l'offre).

L'examen des types de croissance des différentes agglomérations fait apparaître une très grande disparité des facteurs $\frac{U_1}{U_0}$, $\frac{P_1}{P_0}$, $\frac{K_0}{K_1}$; leurs produits par contre τ' est relativement constant (cf. tableau 1).

Pour 28 agglomérations (sur 50 de plus de 100 000 habitants) les évolutions 1975-1980 en moyenne et en dispersion, des facteurs et de leur produit sont les suivants :

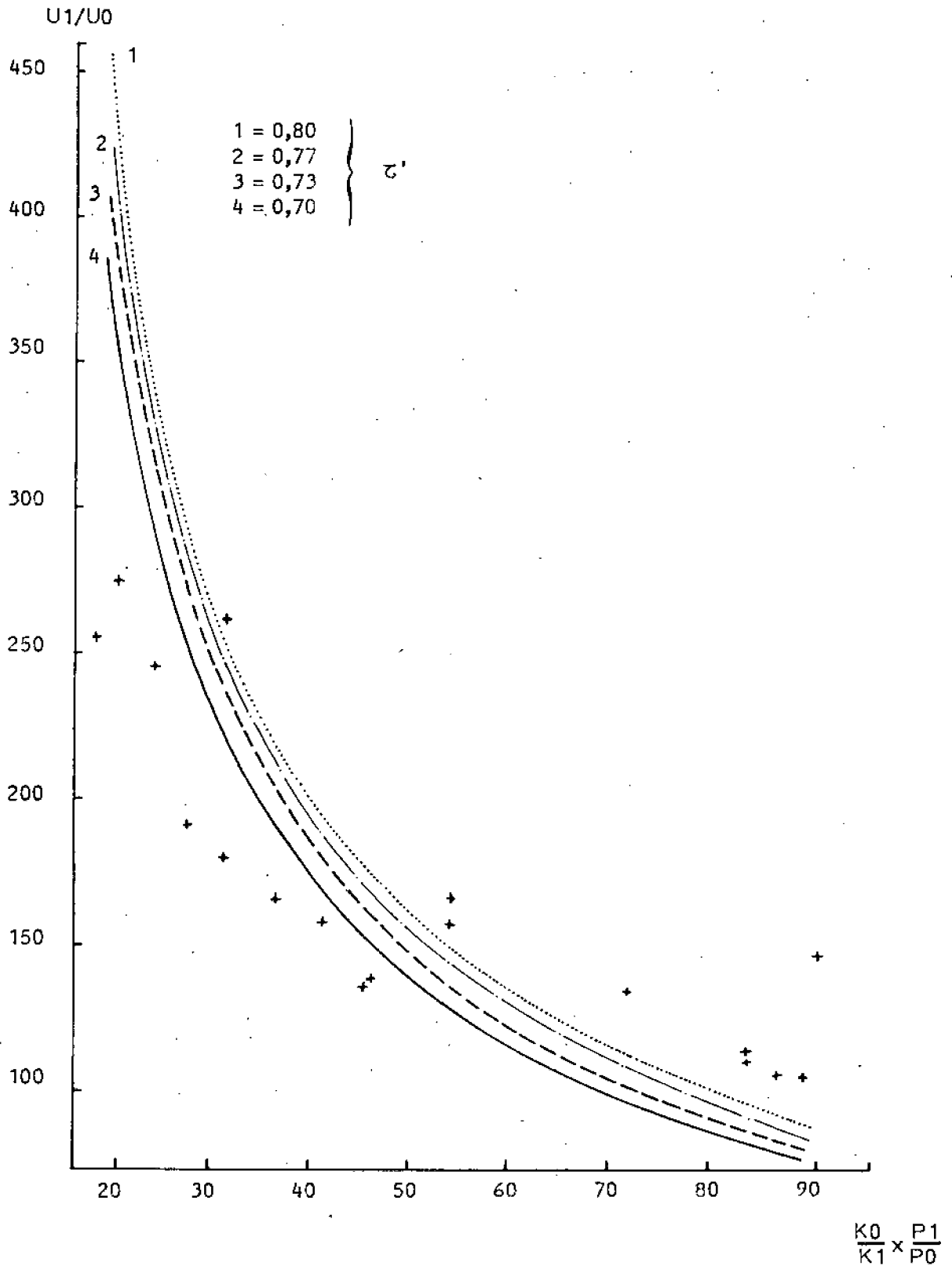
1975-1980	$\frac{U_1}{U_0}$	$\frac{K_0}{K_1}$	$\frac{P_1}{P_0}$	$\frac{U_1}{U_0} \times \frac{P_0}{P_1} \times \frac{P_1}{P_0}$ = τ'
Evolution moyenne m	1.60	0.67	0.79	0.77
Ecart type σ	0.44	0.18	0.15	0.17
Coefficient variat. $\frac{\sigma}{m}$	28 %	28 %	20 %	23 %
Caractère gaussien R = refusé A = accepté	R	A	A	R

En outre, le coefficient de corrélation R^2 calculé pour l'évolution de l'usage qui est expliquée par le produit des évolutions de l'offre et des tarifs est de 0,78 (cf. graphique 1).

La détérioration du taux de couverture entre 1975 et 1980 liée à l'insuffisance de la réponse de l'usage à l'augmentation de l'offre et à la baisse des tarifs est "en moyenne" de 23 % pour l'ensemble des réseaux des agglomérations de plus de 100 000 habitants. Alors que la distribution des effets offre et prix est "normale", la distribution de

GRAPHIQUE 1

Variation de l'augmentation de l'usage en fonction des politiques d'offre et de tarif ; effets sur la détérioration des taux de couverture.



l'effet usage ($\frac{U_1}{U_0}$) et de l'effet global τ' ne l'est pas ce qui semble indiquer que l'effet décelé porte davantage sur l'efficacité des politiques d'offre et de tarif sur l'augmentation de l'usage, pour une période donnée, que sur une relation économétrique autorisant la prévision.

L'examen du tableau 1 fait apparaître que les réseaux pour lesquels la détérioration τ' est supérieure à la détérioration moyenne (points à gauche des hyperboles du graphique, notées d'un point . dans le tableau 1), les croissances de l'usage et de l'offre ont été particulièrement fortes : ce sont les villes où la croissance s'est appuyée sur une baisse des tarifs importante (Reims, Le Havre, Amiens, Lorient, Le Mans) mais on trouve aussi les villes de Caen, Dunkerque et Toulon où la baisse des prix a été minime et où l'augmentation de l'usage a mal répondu à l'augmentation de l'offre ($\frac{K_0}{K_1} \times \frac{U_1}{U_0}$, faibles).

A l'inverse les réseaux (1) où l'usage répond particulièrement bien aux effets offre-prix (faibles) sont des réseaux où les niveaux d'offre sont relativement importants dès 1975. Besançon dont l'offre a cru particulièrement entre 1973 et 1975 enregistre des résultats tout à fait remarquables.

II - L'EFFICACITE DE L'INCITATION DES POLITIQUES D'OFFRE ET DE TARIFS

Le modèle testé est le suivant :

$$\frac{U_{it}}{U_{io}} = a \frac{K_{it}}{K_{io}} + b \frac{P_{it}}{P_{io}} + c$$

Les coefficients de régression a et b mesurent la sensibilité à une période donnée des différences de politiques suivies dans les agglomérations. Ils peuvent donc être très différentes d'élasticité mesurés par différences temporelles.

Pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants et de moins de un million d'habitants (Lille, Lyon et Marseille ont été exclues), le modèle donne de bons coefficients de corrélation et des coefficients de régressions variables suivant les périodes ce qui implique une analyse statistique plus poussée :

	1972-1975	1975-1978	1978-1981	1975-1980
a	0.36	0.47	0.88	0.56
σ_a	(0.03)	(0.03)	(0.03)	
b	- 0.62 *	- 0.98	- 0.40 *	- 0.71
σ_b	(0.13)	(0.12)	(0.12)	
c	1.31	1.43	0.53	1.13
R ² ukp	0.74	0.90	0.95	0.88
R ² uk	0.59	0.75	0.94	0.82

(*) à la limite de la significativité selon le test de Student.

(1) Réseaux qui sont à droite des hyperboles et notés d'une croix sur le tableau 1.

TABLEAU 1

Evolutions de l'offre de l'usage des prix
et de la détérioration du taux de couverture τ'
de 1975 à 1980

$$\tau' = \frac{KO}{KI} \times \frac{U1}{U0} \times \frac{P1}{P0}$$

		$\frac{KO}{KI}$	$\frac{U1}{U0}$	$\frac{P1}{P0}$	$\frac{KO}{KI} \times \frac{U1}{U0}$	$\frac{KO}{KI} \times \frac{P1}{P0}$	$\frac{U1}{U0} \times \frac{P1}{P0}$	τ'
1	GRUPE*1	72.70	129.51	79.95	94.15	58.12	103.54	75.28
2	GRUPE*2	64.78	133.94	85.78	86.77	55.57	114.89	74.43
3	GRUPE*3	63.87	144.24	84.26	92.13	53.82	121.54	77.63
4	GROUP*31	60.41	156.78	82.81	94.71	50.03	129.83	78.43
5	GROUP*32	73.27	121.69	86.38	89.16	63.29	105.12	77.02
6	REINS	52.79	190.14	52.56	100.37	27.75	99.94	52.76
7	LE HAURE	81.45	156.34	66.56	127.34	54.21	104.06	84.76
8	LIMOGES	83.86	106.89	103.51	89.64	86.80	110.64	92.78
9	NANCY	83.59	114.18	100.28	95.44	83.02	111.50	95.71
10	AMIENS	58.76	165.04	62.36	96.98	36.64	102.92	60.48
11	TOULON	47.12	150.22	99.33	70.78	46.80	149.21	70.31
12	GRENOBLE	70.71	147.17	78.67	104.06	55.63	115.78	81.87
13	RENNES	66.60	165.09	81.45	109.95	54.25	134.47	89.55
14	BESANCON	105.78	147.44	86.03	155.96	91.00	126.84	134.17
15	LORIENT	31.83	275.50	62.78	87.69	19.98	172.96	55.05
16	NIMES	84.39	110.96	76.46	93.64	64.52	84.84	71.60
17	LE MANS	34.50	255.25	50.68	88.06	17.48	129.36	44.63
18	BAYONNE	64.30	137.94	71.95	88.70	46.26	99.25	63.82
19	TROYES	92.38	111.96	90.85	103.43	83.93	101.72	93.96
20	CAEN	33.52	179.58	94.09	60.20	31.54	168.97	56.64
21	DUNKEROU	51.49	135.02	88.45	69.52	45.54	119.43	61.49
22	MONTPELI	60.68	147.04	81.24	89.22	49.30	119.46	72.49
23	MAUBEUGE	28.15	262.45	112.83	73.88	31.76	296.12	83.36
24	THIONVIL	80.50	106.31	111.35	85.58	89.64	118.38	95.29
25	DIJON	55.06	156.97	75.31	86.43	41.47	118.21	65.09
26	ST ETIEN	92.95	95.73	87.55	88.98	81.38	83.81	77.90
27	BORDEAUX	70.18	112.45	90.38	78.92	63.43	101.63	71.33
28	TOULOUSE	93.58	134.79	77.04	126.14	72.09	103.84	97.18

Groupe 1 : Ensemble des agglomérations dont la population desservie est comprise entre 300 et 900 000 habitants (8 réseaux)

Groupe 2 : Ensemble des agglomérations dont la population desservie est comprise entre 200 et 300 000 habitants (10 réseaux)

Groupe 3 : Ensemble des agglomérations dont la population desservie est comprise entre 100 et 200 000 habitants (29 réseaux) dont :

Groupe 31 : agglomérations où le versement transport est égal à 1 % (18 réseaux)

Groupe 32 : agglomérations où le versement transport est inférieur à 1 % (11 réseaux).

. Agglomérations où τ' est supérieur à 0,85

X Agglomérations où τ' est inférieur à 0,70

Ce modèle permet d'affirmer les résultats mis en lumière à partir de l'évolution des taux de couverture.

Les années 1975-1980 correspondent à une première période de grande croissance (1975-1978) et de différenciations tarifaires suivant les agglomérations tandis

que la période 1978-1981 correspond à une certaine stabilisation de la croissance et des tarifs (en francs constants) dans la plupart des agglomérations. La détérioration du taux de couverture est également plus faible.

	U1/U0	P1/P0	K0/K1	ζ'
1972-1975	1.07	1.02	0.82	0.90
1975-1978	1.21	0.86	0.77	0.79
1978-1981	1.12	0.97	0.88	0.96
1975-1980	1.35	0.83	0.67	0.77

Les résultats du modèle pour la période 1975-1978 confirment et précisent donc les résultats antérieurs sur la forte sensibilité de l'usage aux diminutions de tarifs. Les tarifs sont "explicatifs" de la croissance de l'usage pour la période 1975-1978. Pour les périodes 1972-1975 et 1978-1981, où les politiques tarifaires ont été peu différenciées suivant les agglomérations, la méthode ne permet pas de tester leur sensibilité. La valeur des résultats trouvés pour la période 1975-1978 sont spécifiques de la période : pour cette période comme pour toutes les autres il n'y a pas de corrélation entre les variations de prix et d'offre.

*
* *

L'intérêt des résultats réside dans la mesure effectuée sur un grand nombre de réseaux de l'efficacité sociale des politiques tarifaires. Cette "mesure" est relative à la période étudiée et aux réseaux français.

En période de restructuration des réseaux l'efficacité sociale des politiques tarifaires s'accompagne d'une "certaine" efficacité économique. Nous avons vu que les réseaux des villes qui ont pratiqué la réduction des tarifs ont connu une réduction de taux de couverture du même ordre que les villes qui n'en ont pas réalisé, alors que les augmentations d'usage sont plus fortes dans les premiers cas que dans le second.

La période 1978-1981 qui a connu une certaine stabilisation de la croissance ne permet pas de tester l'efficacité des politiques tarifaires dans la mesure où celles-ci sont moins différenciées suivant les agglomérations. A contrario, l'efficacité des politiques d'amélioration des services offerts est plus forte. Celle-ci peut correspondre à un phénomène d'amélioration à la marge et de meilleure adaptation dans un second temps de l'offre à la demande ; ceci peut aussi renvoyer à d'autres types d'explications tels que ceux qui ont été soulignés pour l'étude des taux de couverture et qui portent sur les niveaux relatifs de l'offre pour les divers réseaux.

Les comparaisons qui ont été faites en termes d'évolution, sont riches dans la mesure où les collectivités locales ont développé des stratégies spécifiques dans le cadre de nouvelles ressources affectées à la croissance des transports en commun.

Les comparaisons inter-agglomérations des évolutions permettent de conclure :

- à l'efficacité des politiques tarifaires en période de forte croissance ;
- à la nécessité de stratégies conjointes sur l'offre et les tarifs.

Le type de mesure qui a été fait et qui vise à analyser une période intéressante de croissance des réseaux n'est pas à même de fournir directement des modèles

économétriques pour la prévision. Il souligne au contraire l'aspect profondément stratégique des politiques de réseaux tout en fournissant certains enseignements sur l'efficacité des politiques suivies.

EFFETS DES TYPES DE CONDUITE SUR LA CONSOMMATION DE CARBURANT

Par Guy LABIALE - Chargé de Recherches

1 - INTRODUCTION

Un facteur non négligeable d'économie de carburant dans le secteur des transports automobiles réside dans le comportement des conducteurs (OCDE 1982, LABIALE, 1982). Actuellement, on constate que la majorité d'entre eux est préoccupée par le coût du carburant et est donc motivée à faire des économies. Il faut distinguer dans ces comportements des conducteurs des orientations très variées s'exprimant par l'achat d'un véhicule à faible consommation, l'entretien et le réglage régulier du véhicule, l'achat d'équipements économiseurs, le choix d'itinéraires, le "car-pooling" ou encore la recherche d'une conduite économique avec éventuellement l'assistance de dispositifs "d'aides à la conduite".

C'est à ce dernier type de problèmes que nous nous intéresserons car d'une part, il pourrait constituer un des facteurs les plus importants sur la consommation de carburant et d'autre part il répond à la motivation des Pouvoirs Publics et des conducteurs eux-mêmes de trouver la meilleure méthode de conduite économique.

Bien qu'il existe des relations définies, indépendantes de l'effet des types de conduite, entre les divers paramètres d'utilisation du véhicule et la consommation de carburant, telles que vitesse-consommation, régime moteur-consommation, ... etc., il n'en reste pas moins que le conducteur possède un certain nombre de degrés de liberté pour choisir le niveau d'utilisation de ces paramètres lors de la conduite, ce qui a corrélativement pour conséquence une consommation de carburant plus ou moins importante du véhicule.

Nous présentons donc ici une revue bibliographique sur :

- les effets des types de conduite sur les paramètres d'utilisation du véhicule et sur la consommation de carburant,
- l'influence et l'efficacité des aides à la conduite économique sur la consommation de carburant.

Suite à l'analyse de ces recherches, nous terminons cet article par des réflexions sur l'interaction route-conducteur-véhicule qui nous semble devoir être considérée si l'on veut définir une typologie des conducteurs en relation avec une conduite économique.

2 - EFFETS DES TYPES DE CONDUITES

Nous nous intéresserons ici à l'étude de la variabilité de la consommation de carburant en relation avec les différents types de conduite du conducteur ; à ce propos il faut distinguer deux types de variabilité :

- une variabilité inter-individuelle prenant en compte les différences entre conducteurs,
- une variabilité intra-individuelle prenant en compte la variabilité pour un même

conducteur, en fonction des différentes motivations de conduite de ce dernier.

2.1 - La variabilité inter-individuelle

On analysera donc les recherches prenant en compte les différences de consommation de carburant entre conducteurs placés dans des conditions de circulation et de conduite similaires.

Les premières études américaines de EVANS et al. (1976 a, 1976 b), de CHANG et al. (1976 a, 1976 b), puis celles de JONES et APPLEBY (1978), sur des véhicules instrumentés circulant dans le trafic, ont mis en évidence une relation linéaire entre la consommation de carburant et la durée du parcours ou la vitesse moyenne du véhicule de la forme :

$$\bar{\theta} = K1 + K2 \bar{t} \quad \text{ou encore} \quad \bar{\theta} = 1/\bar{E} = K1 + K2/\bar{V}$$

où $\bar{\theta}$ est la moyenne du carburant consommé par unité de distance, \bar{E} est l'économie moyenne de carburant, \bar{t} est la moyenne du temps par unité de distance, \bar{V} est la vitesse moyenne, $K1$ et $K2$ des constantes ; cette relation n'étant valable que pour un trafic routier dont la vitesse moyenne est inférieure à 60 kilomètres/heure. Une analyse statistique par régression n'a pas démontré d'effet différentiel entre conducteurs sur la consommation de carburant. Pour les auteurs la consommation de carburant s'expliquerait uniquement en termes de propriétés du trafic urbain et des caractéristiques physiques d'un véhicule particulier.

On peut se demander si ces auteurs en recherchant une relation simple explicative de la consommation de carburant n'ont pas été amenés à minimiser l'effet conducteur d'autant plus que la méthode statistique utilisée apparaît incomplète pour tester réellement cet effet. En outre, une étude de l'IRT (COHEN, 1981) bien que retrouvant une relation semblable avec des véhicules européens a montré que les coefficients $K1$ et $K2$ pouvaient varier selon le mode de conduite des conducteurs.

Comme nous allons le voir maintenant, toute une série de recherches ont réussi à mettre en évidence l'influence des types de conduite sur la consommation de carburant des véhicules.

ROUMÉGOUX (1976) a étudié la consommation de carburant d'une Renault 12 break, avec cinq conducteurs sur un parcours urbain de 26,1 kilomètres, comprenant différents tronçons (définis par la fluidité de circulation). Les résultats ont montré que pour le même parcours chaque conducteur présente une grande dispersion de consommation de carburant (due en partie à des modifications de densité de trafic) par rapport à lui-même de l'ordre de 9 % en moyenne ; cette dispersion peut atteindre 22 % en moyenne sur certains tronçons du parcours et pour un même conducteur sur un tronçon donné elle peut varier de 25 à 40 % au maximum. Cependant comme la dispersion moyenne est de même importance pour les conducteurs, les comparaisons de consommation entre conducteurs ont pu être testées ; elles montrent qu'il y a des différences significatives de consommation de carburant entre conducteurs pouvant atteindre 19 %. Les vitesses moyennes et accélérations moyennes ne varient pratiquement pas entre les conducteurs ; par contre il existe des différences importantes au niveau de l'utilisation des régimes moteur et des rapports de transmission, en relation avec les différences dans la consommation de carburant (les conducteurs "gros consommateurs" utilisant des régimes moteurs importants).

Le TRRL (1980 a) a comparé dans des situations réelles de trafic la consommation de carburant (essence et gazole) de cinq conducteurs utilisant successivement des véhicules VW Golf 1500 cc diesel et VW Golf 1100 cc essence ; deux circuits tests ont été choisis, l'un de Crowthorne (banlieue) à Londres utilisant l'autoroute et l'autre dans

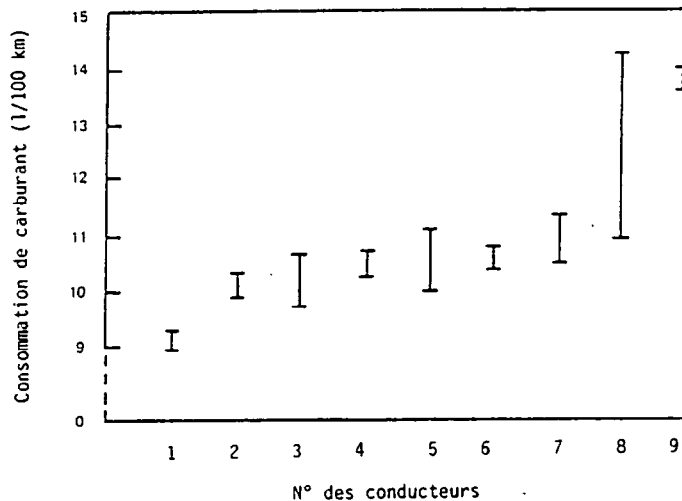
le centre de Londres. Les véhicules étaient conduits sur les routes tous les jours pendant six semaines, les conducteurs n'ayant pas reçu de consigne particulière. Les résultats ont montré que des différences de consommation de carburant apparaissent nettement selon le type de parcours, le type de véhicule et les conducteurs. Plus précisément la consommation de carburant est significativement plus importante :

- pour les véhicules à essence que pour les véhicules diesel (de 50 % en moyenne)
 - pour les véhicules circulant dans le centre ville qu'en banlieue (de 50 % en moyenne) ;
- la différence moyenne de consommation entre conducteurs étant de 10 %.

Le TRRL (1980 b) a testé à nouveau la variabilité de consommation sur un circuit routier sans trafic (circuit du TRRL, 2,6 kilomètres avec onze jonctions et six stops). Pendant le test les conducteurs devaient conduire de leur façon normale et habituelle (après une période d'adaptation à l'utilisation du véhicule Ford Escort 1300 cc) une dizaine de fois sur le circuit. Les résultats ont montré une variation significative de consommation inter-individuelle et intra-individuelle (figure 1) ; ainsi il est intéressant de noter d'une part la grande différence (50 %) entre le conducteur qui consomme le plus et celui qui consomme le moins de carburant, d'autre part la variabilité pour chaque conducteur (allant de $\pm 1,4$ % à ± 14 %). Enfin en prenant la performance moyenne des cinq meilleurs conducteurs de l'échantillon, une économie de 8 % de carburant apparaît possible.

Figure 1

Différence de consommation de carburant selon les conducteurs
numéro 1 à numéro 5 - d'après le TRRL (1980 a)



2.2 - Variabilité intra-individuelle

On analysera les recherches prenant en compte les différences de consommation de carburant pour un même conducteur en fonction des consignes de conduite qu'il a reçues.

CHANG et al. (1976 a, 1976 b) a réalisé une étude sur neuf conducteurs différents sur un total de trente quatre déplacements automobiles sur un circuit de banlieue de Détroit de vingt sept kilomètres composé de cinquante six feux et où les vitesses moyennes du trafic étaient comprises entre quarante et cinquante kilomètres/heure. Une voiture unique, modèle standard 1974 à transmission automatique, avec un moteur V8 de 6,61 de cylindrée et d'un poids de 2 259 kilogrammes, a été utilisée. Différentes instructions sur la façon de conduire étaient données selon les conducteurs :

- 1 - conduire normalement avec le trafic ;
- 2 - minimiser le temps de déplacement ; les conducteurs pouvaient faire de fortes accélérations, changer de file et adapter leur vitesse pour passer le maximum de feux de circulation ;
- 3 - utiliser de fortes accélérations et décélérations ; les conducteurs essaient de maintenir le maximum de la vitesse appropriée si c'est possible ; ils ne prévoient pas ou n'anticipent pas les situations dans lesquelles une réduction temporaire de vitesse peut conduire à un temps total réduit du parcours comme dans l'instruction 2 ;
- 4 - minimiser la consommation de carburant ; les conducteurs ayant cet objectif se classent en deux groupes : ceux qui réduisent les accélérations et la vitesse (4 a), ceux qui réduisent le nombre d'arrêts par un ajustement judicieux de la vitesse utilisant même quelques fortes accélérations dans certains cas (4 b) ;
- 5 - maintenir le niveau de l'indicateur de consommation de carburant instantané dans la zone verte ; ceci implique de limiter les accélérations en dessous des valeurs utilisées normalement dans le trafic ;
- 6 - maintenir le niveau de l'indicateur de consommation instantané de carburant dans la zone orange ; ceci implique des niveaux d'accélérations faibles mais qui restent dans la normale ;
- 7 - conduire comme un conducteur très prudent ; ici le conducteur utilise de faibles accélérations et vitesses et évite les changements de voies.

Les résultats détaillés par instructions de conduite sont reportés dans le tableau 1.

TABEAU 1

Effet du type de conduite sur les économies de carburant et la durée du trajet - d'après CHANG et al. (1976).

Types de conduite	% de changement en économie de carburant	% de changement vitesse moyenne	Durée du trajet gain ou perte
4b. Réduire les arrêts	+ 16.1 %	+ 3.3 %	gain 1
7. Conduire très prudemment	+ 7.4 %	- 7.2 %	perte 3
4a. Réduire accélérations et vitesses	+ 6.8 %	- 4.2 %	perte 2
6. Conserver l'indicateur dans le vert/orange	+ 5.7 %	- 1.4 %	perte 1
1. Conduire normalement	(base)	(base)	(base)
5. Conserver l'indicateur dans le vert	- 2.0 %	- 24.5 %	perte 13
2. Réduire la durée du trajet	- 9.0 %	+ 15.7 %	gain 6
3. Utiliser de fortes accélérations	- 14.0 %	+ 11.9 %	gain 4

On constate que les instructions 2 et 3 amènent la consommation de carburant la plus importante alors que l'instruction 4 b (qui minimise les arrêts) amène la consommation la plus faible tout en amenant un gain dans la durée du trajet (ceci peut se comprendre en partie si l'on considère comme l'a montré CLAFFEY (1971) que l'arrêt à un feu de croisement constitue une consommation supplémentaire de carburant). Les instructions 6 et 7, qui comme la méthode 4 a, présentent une réduction des accélérations, ne

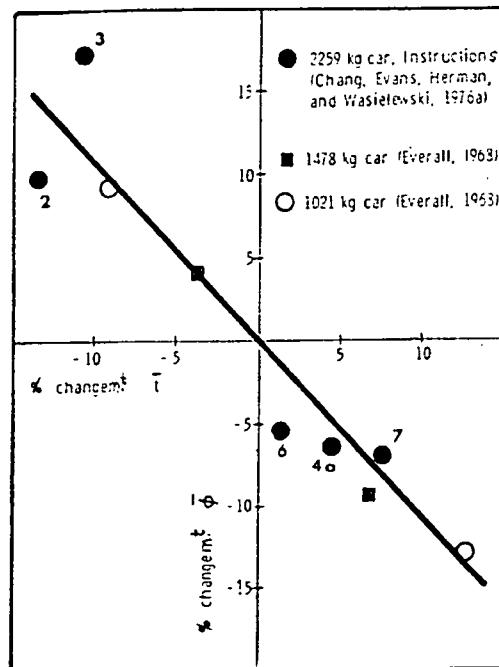
permettant pas d'ajuster la vitesse pour éviter les arrêts, amènent des résultats en consommation et durée de trajet assez semblables à ceux de l'instruction 4 a. Singulièrement l'instruction 5 augmente à la fois la consommation de carburant et la durée du trajet.

EVANS (1979) a rassemblé les résultats d'EVERALL (1968) et de CHANG et al. (1976 a) sur un même graphique (figure 2) et a mis en évidence la droite de régression du pourcentage de changement de consommation de carburant ($\bar{\phi}$) en fonction du pourcentage de changement de la durée moyenne (\bar{t}) du trajet en automobile, soit précisément :

$$\% \text{ changement } \bar{\phi} = - 1,08 \% \text{ changement } \bar{t}.$$

Figure 2

Pourcentage de changement dans la consommation d'essence
par rapport au pourcentage de changement dans la durée du trajet
D'après EVANS (1979)



Autrement dit, quand un conducteur change son type de conduite afin de diminuer de 15 % la consommation de carburant, la durée moyenne de son trajet est augmentée de 16 % environ et inversement ; ces résultats sont valables pour des vitesses moyennes ne dépassant pas 60 kilomètres/heure ; selon EVANS quand le trafic devient plus fluide, au-delà de 60 kilomètres/heure, les possibilités de réduire le temps de trajet ou la consommation de carburant apparaissent limitées ; il en est de même quand on s'approche des conditions d'embouteillage de la circulation.

Les calculs d'EVANS ont été confirmés globalement par les études de ODSELL et LAURELL (1978) en Suède, d'ALLPIVUORI et KALBERG (1980) en Finlande, de POUND (1980) en Australie. Cependant, il nous apparaît que la relation d'EVANS dans sa visée prédictive de la consommation, occulte les résultats obtenus par les expériences de CHANG et al. (1976) où comme nous l'avons vu, certains types de conduite amènent à la fois un gain dans les économies de carburant et le temps de trajet.

CHANG et HERMAN (1980) ont confirmé leurs premiers résultats en réalisant une recherche qui avait pour but l'analyse approfondie des effets de trois types de conduite : "agressive", "normale", et "modérée" sur la consommation de carburant et sur les paramètres d'utilisation du véhicule tels que la durée des déplacements, l'accélération, la variabilité de l'accélération, le travail dépensé lors de l'accélération. Sur une route sub-urbaine de 21,2 kilomètres comprenant cinquante deux feux de croisement, quatre conducteurs ont été testés sur un véhicule équipé (modèle 1977, moteur V8, 5,7 L de cylindrée, carburateur à 4 corps, transmission automatique à trois vitesses, poids total du véhicule + deux passagers + équipement = 2 150 kilogrammes).

Plus précisément, l'effet de trois instructions de conduite a été étudié :

- 1 - conduire normalement avec le trafic ;
- 2 - conduire agressivement ; ceci implique de fortes accélérations et décélérations ; le maintien d'une vitesse maximum quand c'est possible et des changements de files ;
- 3 - conduire avec modération, c'est-à-dire comme un conducteur très prudent utilisant de faibles accélérations et décélérations quand c'est possible et en évitant de changer de file.

Les effets des différents types d'instructions sur la conduite sont portés dans le tableau 2 pour différentes variables.

TABLEAU 2

Valeurs des variables pertinentes pour les différentes instructions de conduite

D'après CHANG et HERMAN (1980)

	Conduite modérée	Conduite normale	Conduite agressive
Vitesse moyenne, km/h	39.10	43.00	47.90
Durée moyenne du trajet, s/km	96.80	86.20	78.30
Consommation moyenne de carburant, ml/km	158.00	177.30	227.90
Fraction d'énergie routière dissipée en freinant	0.26	0.35	0.44
Fraction de travail utilisé en accélérant	0.49	0.60	0.68
Travail pour accélérer le véhicule, m/s ²	0.13	0.20	0.29
Fraction de distance en freinant ou décélérant	0.17	0.24	0.31
Accélération Ecart-type, m/s ²	0.55	0.76	0.99
Arrêts par unité de distance, km ⁻¹	0.81	0.77	0.76
Fraction de temps arrêté	0.08	0.09	0.07
Moyenne des vitesses maximum, km/h	56.30	66.90	77.30

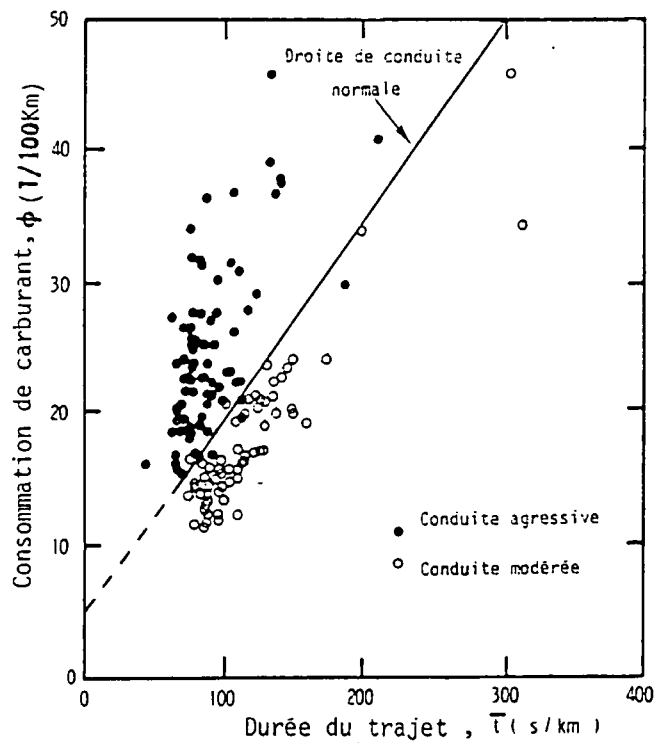
On note particulièrement que la moyenne des vitesses est de 39,1 kilomètres/heure pour une conduite modérée, 43 kilomètres/heure pour une conduite normale et 47,9 kilomètres/heure pour une conduite agressive ; les parties correspondantes de l'énergie dissipée par le freinage sont respectivement de 26, 35 et 44 %. De plus, il est apparu pour une même vitesse moyenne, que la conduite agressive amène des accélérations et décélérations plus fortes que pour la conduite douce, la conduite normale ayant une position intermédiaire. Ces différences se retrouvent avec les fonctions de distribution de la vitesse et de l'accélération ; ainsi par exemple la distribution de l'accélération positive et négative pour la conduite agressive est considérablement plus étendue et en particulier les décélérations ont un niveau beaucoup plus important que pour les conduites normales et modérées.

En bref, le type de conduite "agressive", "normale", ou "modérée" a un effet

différentiel sur la consommation de carburant ; cette action semble pouvoir être expliquée en partie par les effets sur les vitesses, les niveaux d'accélération et de décélération, la variabilité et l'accélération, l'énergie dépensée pour les accélérations et décélérations. Enfin les auteurs soulignent que la relation d'EVANS (1976) : $\bar{\phi} = K1 + K2/\bar{V}$ ou $\bar{\phi} = K1 + K2 \bar{T}$, si elle est vérifiée pour le type de conduite normale, ne l'est plus pour une conduite modérée ou agressive ; dans ce dernier cas les résultats se répartissant sur une droite approximativement orthogonale à la droite de régression obtenue avec une conduite normale (figure 3).

Figure 3

Consommation moyenne de carburant (l/100 km)
par rapport à la durée moyenne du trajet (s/km) pour 2 consignes de conduite
D'après CHANG et HERMAN (1980)



La droite en pointillés représente la régression linéaire obtenue pour la conduite modérée.

3 - EFFICACITE DES AIDES A LA CONDUITE

Il existe trois types de base d'indicateurs de consommation qui renseignent le conducteur sur les effets de l'utilisation de son véhicule :

- la jauge à dépression qui mesure la dépression au niveau du carburateur et qui donne généralement sur un cadran visible par le conducteur trois repères : un niveau fort, moyen et faible ou nul ;
- le débitmètre instantané qui mesure la quantité instantanée d'essence consommée et la visualise sur un cadran ;

- l'indicateur du rapport de transmission optimal informe le conducteur quand il doit changer de rapport de boîte de vitesse.

Des systèmes électroniques constituant des micro-ordinateurs de bord peuvent intégrer les données du véhicule pour renseigner le conducteur sur la consommation de carburant, la distance parcourue, la vitesse moyenne, le rapport de transmission optimal, etc.

3.1 - Le débitmètre instantané

BANOWETZ et BINTZ (1977) ont comparé la consommation de carburant de soixante dix véhicules américains équipés d'indicateurs de consommation instantanée et de soixante dix véhicules non équipés d'indicateurs.

Les conducteurs des cent quarante véhicules étaient motivés pour économiser du carburant. Les véhicules étaient utilisés pendant douze semaines de conduite normale. Les résultats ont montré que les véhicules équipés avaient consommé 3 % environ de moins de carburant que les véhicules non équipés, mais cette différence n'est pas statistiquement significative.

3.2 - La jauge à dépression

CHANG et al. (1976 a, 1976 b), comme nous l'avons déjà vu plus haut, a étudié l'efficacité d'une jauge à dépression selon deux modalités différentes :

- instruction 5 : maintenir le niveau de l'indicateur instantané dans une zone verte qui correspond à limiter les accélérations en-dessous des valeurs normales utilisées dans le trafic ;

- instruction 6 : maintenir le niveau de l'indicateur dans une zone verte ou orange, ceci impliquant des niveaux d'accélération faibles mais qui restent dans la normale.

Les résultats ont montré que l'instruction 6 amenait 6 % d'économie de carburant avec un allongement négligeable de la durée du trajet alors que l'instruction 5 amenait 2 % de sur-consommation et un grand allongement de la durée du trajet.

Les recherches de ODSELL et LAURELL (1978) sur quatre conducteurs utilisant une voiture suédoise (Saab 99 CM4, modèle 1973) sur un circuit routier de 64 kilomètres, parcouru quatre fois, ont montré que la consommation de carburant diminuait de 8 % avec une conduite économique et de 9 % avec une conduite économique assistée par des indicateurs de consommation tels que jauge à dépression et débitmètre instantané ; cependant alors que dans le premier cas la durée du trajet était augmentée de 3 % par rapport à une conduite normale, dans le second cas elle était augmentée de 9 %.

Donc ces résultats dans leur ensemble ne permettent guère de conclure en la faveur des indicateurs de consommation. Une analyse approfondie a été réalisée par CLAFFEY (1977) qui a testé la consommation de voitures américaines (modèles 1968 et 1970) sur un trajet de 56 kilomètres avec quatorze stops et dix neuf tournants, avec cinquante cinq conducteurs. Les résultats ont montré que les indications en provenance de la jauge à dépression ont des effets différents selon le type de conduite des conducteurs :

- pour les conducteurs qui ont initialement une conduite "modérée" (58 % des hommes et 80 % des femmes) l'effet de la jauge à dépression est mitigé, allant d'une amélioration des économies de carburant jusqu'à une dégradation ; en effet pour quelques conducteurs la jauge constituait plus une distraction qu'une aide véritable ;

- pour tous les conducteurs présentant habituellement une conduite avec de fortes accélérations (42 % des hommes et 20 % des femmes) les économies de carburant

étaient améliorées par l'indication des jauges à dépression ; cet effet ayant pour base une réduction du niveau des accélérations.

3.3 - Les systèmes d'aides à la conduite avec indicateur de rapport de boîte

L'AAE (1980, 1981) a testé l'efficacité de deux types de moniteur d'aides à la conduite sur les économies de carburant de soixante véhicules (comprenant des Renault R4, R18, R20) qui ont effectué un parcours total de 258 853 kilomètres sur trois types de voies (route dégagée, autoroute dégagée, voies urbaines). Trois groupes d'automobilistes ont été formés :

- un groupe témoin qui conduisait sans moniteur d'aide à la conduite,
- un groupe qui conduisait avec l'aide d'un moniteur de conduite SOLEX,
- un groupe qui conduisait avec l'aide d'un moniteur de conduite Renault.

Le moniteur de conduite SOLEX est constitué par un cadran à deux zones lumineuses (aucune zone éclairée = faible consommation ; zone bleue éclairée selon trois intensités = consommation moyenne ; zone orange clignotante = forte consommation, indication pour passer à un rapport de boîte supérieur). Les informations du moteur sont recueillies par deux capteurs : un capteur de dépression dans la tubulure d'admission et un capteur de régime moteur. Le moniteur de conduite Renault est constitué par un cadran à trois zones lumineuses (zone verte éclairée = faible consommation du moteur ; zone rouge = régime trop élevé, indication pour passer à un rapport de boîte supérieur ; zone orange = accélérateur trop enfoncé, forte consommation). Le moniteur recueille les informations sur le moteur par trois capteurs : un capteur de régime moteur, un capteur de position de papillon d'accélérateur et un capteur de rapport de transmission.

Dans ces conditions, on a constaté une réduction de 11,9 % de la consommation de carburant avec le moniteur SOLEX, et une réduction de 7,7 % avec le moniteur Renault. Ces résultats contrastent avec l'absence de réduction notée dans les études présentées ci-dessus. Cependant, il faut souligner que les gains observés ont été calculés à partir des réponses des conducteurs aux questionnaires sur le parcours et la consommation totale d'une semaine et que ces conditions de recueil des données amènent à s'interroger sur la précision et la fiabilité de tels résultats.

4 - DISCUSSION - CONCLUSION

A l'issue de cette analyse bibliographique, il apparaît qu'il existe bien un effet des types de conduites sur les paramètres d'utilisation du véhicule et sur la consommation de carburant ; plus précisément nous retiendrons que la variabilité inter-individuelle dans la consommation de carburant entre conducteurs est comprise entre 8 et 10 % en moyenne mais peut atteindre 50 % entre consommations extrêmes ; la variabilité intra-individuelle de consommation pour le même conducteur en fonction de motivations différentes, est comprise entre 8 et 23 % mais peut atteindre 25 % entre consommations extrêmes.

Ces variabilités dans la consommation de carburant sont en relation avec les paramètres d'utilisation du véhicule tels que accélérations, variabilités de l'accélération, régimes moteur, vitesses, nombre et durée des arrêts dans le trafic. D'une manière générale une conduite "économique" amène un gain substantiel dans les économies de carburant et il semble, tout au moins pour la majorité des conducteurs, que cette économie de carburant se "paie" d'un allongement de la durée moyenne du trajet ou d'une diminution de la vitesse moyenne sur ce trajet. Cependant, il faut souligner que quelques conducteurs peuvent présenter une conduite "économique" qui amène à la fois des "économies" dans la consommation de carburant et une réduction de la durée du

trajet (par un ajustement judicieux des vitesses et accélérations qui diminuent le nombre d'arrêts).

Enfin, l'efficacité des aides à la conduite tel que le débitmètre instantané et jauge à dépression se sont révélés être d'une efficacité pratiquement nulle sur les économies de carburant ; seul un système intégré avec indicateur du rapport de transmission optimal pourrait amener de 7 % à 12 % d'économies de carburant, mais ces résultats demandent à être confirmés par des expérimentations rigoureuses sur des véhicules instrumentés.

Des recherches analysées il se dégage un schéma type d'une conduite "économique", à savoir :

- vitesses et accélérations modérées avec variabilités réduites ; cependant les vitesses et les accélérations ne doivent être ni faibles ni fortes mais présenter un optimum ;
- anticipation par le conducteur, des mouvements de la circulation à l'avant du véhicule afin d'éviter les arrêts, de minimiser les accélérations et décélérations ;
- éviter les arrêts, grâce le cas échéant à une accélération pour passer un feu orange ;
- régimes moteurs faibles et moyens avec le choix du rapport de transmission optimum.

Cependant la liste des caractéristiques qui définissent un schéma de conduite "économique" reste grossière et partielle ; ainsi on trouve, dans la littérature que nous venons d'analyser, quelques exemples de conducteurs placés dans les mêmes conditions (véhicule, trajet, trafic, ...) qui montrent des caractéristiques similaires d'une conduite "économique" mais avec des consommations de carburant fort différentes. On est donc amené à faire l'hypothèse que les façons de se placer et d'évoluer dans un trafic, les manières de réagir à différentes situations de circulation, en bref que les stratégies et tactiques de conduites des conducteurs doivent avoir un effet significatif sur la consommation de carburant.

De ce point de vue la réponse au problème posé nous semble passer par une étude des interactions "conducteur-véhicule-environnement routier", en centrant les recherches sur le comportement du conducteur lors de la conduite du véhicule en situation réelle de trafic. Les principaux niveaux impliqués dans ces interactions peuvent être répertoriés ; ils comprennent (figure 4) :

- la situation ROUTE-VEHICULE qui constitue une situation stimulante complexe ;
- la médiation et l'intégration CONDUITE DU CONDUCTEUR qui constitue un ensemble d'opérations psychologiques et comportements psycho-moteurs donnant lieu en particulier à
- la réponse d'utilisation du VEHICULE dans le trafic.

Cette approche implique des enregistrements des paramètres d'utilisation du véhicule (vitesses, accélérations, régime moteur, consommation, ... etc.) mais aussi l'observation du comportement du conducteur (mouvements du regard, ... etc.), l'analyse des tactiques et stratégies de conduite (telles que les modalités de dépassement, de placement dans le trafic, de poursuite, d'anticipation, ... etc.) en fonction de l'environnement routier (types de voies, densité du trafic, ... etc.).

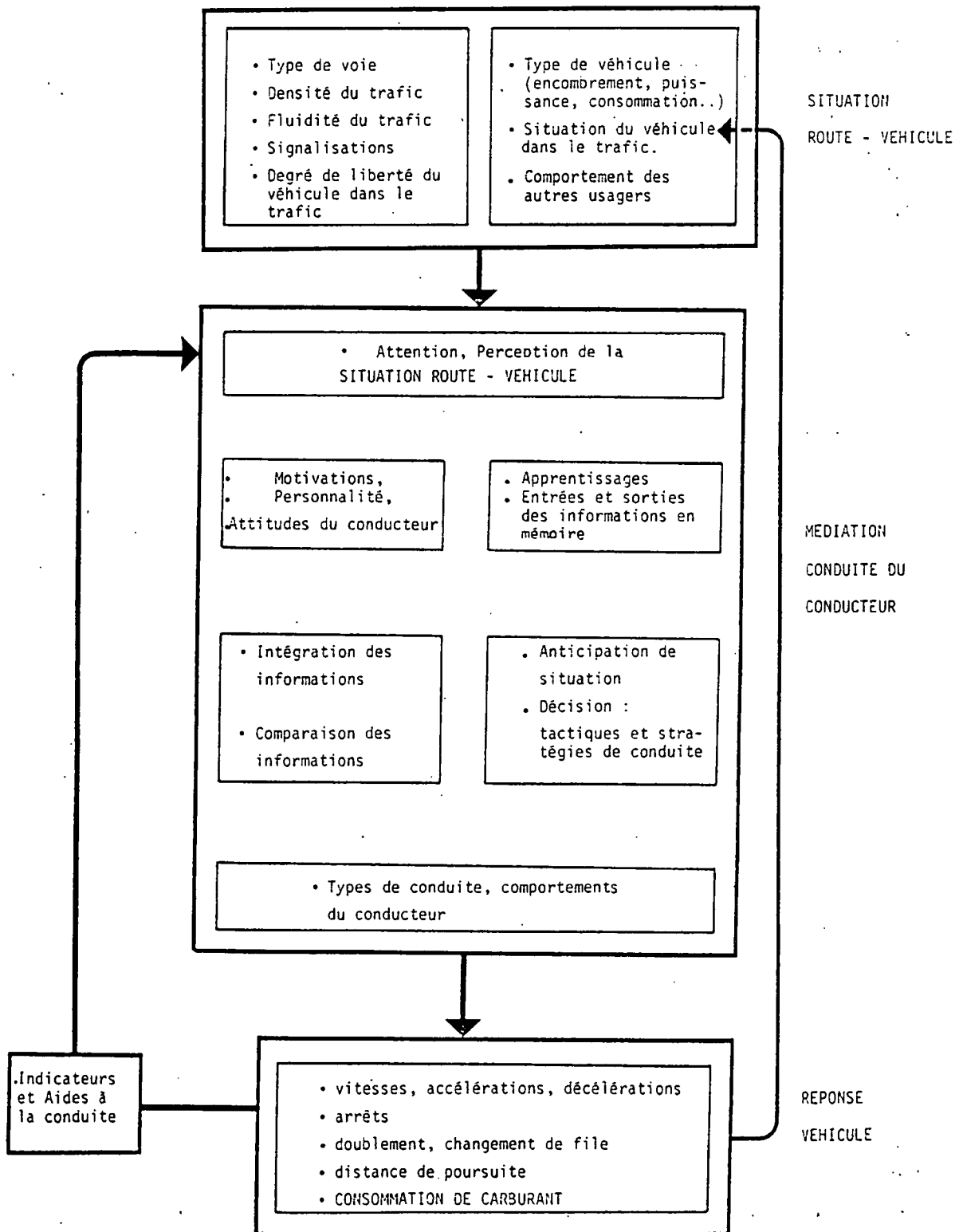
Une telle étude pourrait permettre de mettre en évidence la structure de la tâche de conduite et de là comment cette dernière peut être modifiée en fonction d'une finalité précise qui est ici une conduite économique en consommation de carburant ; les résultats ainsi obtenus apporteront une contribution significative aux solutions d'économie d'énergie dans les transports.

5 - REFERENCES

ALPPIVUORIK, KALLBERG H. Personbilförornas möjligheter att inverka på bränsleförbrukningen (Fuel saving possibilities for car owners) - Rapport 47, 1980, 48 pages.

Figure 4

Schéma de l'interaction "ROUTE-CONDUITE-VEHICULE"



- BANOWETZ R.A., and BINTZ L.J. - Field evaluation of miles-per-gallon meters. Washington D.C. : U.S. Department for Transportation, Report No. DOT-TSC-OST-77-64, November 1977.
- CHANG M.F., EVANS L., HERMAN R. and WASIELEWSKI P. - The influence of vehicle characteristics, driver behavior, and ambient temperature on gasoline consumption in urban traffic. Paper presented at the 55 th Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C., Research Publication GMP-1950, 1976.
- CHANG M.F., EVANS L., HERMAN R., and WASIELEWSKI P. - Gasoline consumption in urban traffic. Transportation Research Record, 1976, 599, 23-30 (b).
- CLAFFEY P. - Running costs of motor vehicles as affected by road design and traffic NCHRP Report.111, 1971.
- CLAFFEY P.I., POTSDAM N.Y. - Passenger car fuel conservation - Dot Report N° FHWA - PL 77009, 1977, 235 pages.
- CHANG M.F., HERMAN R. - Driver response to different driving instructions : effect on speed, acceleration and fuel consumption - Traffic Engineering and Control, 1980, 545-550.
- COHEN S. - Consommation d'énergie et déplacements des voitures particulières en milieu urbain - Rapport IRT, 1981, n° 5, 78 pages.
- EVANS L. - Driver behavior effects on fuel consumption in urban driving Human Factors, 21 (4), 1979, 389-398.
- EVANS L. and HERMAN R. and LAM T.N. - Multivariate analysis of traffic factors related to fuel consumption in urban driving - Transportation Science, 1976 a, 10 (2), 205-215.
- EVANS L., HERMAN R., and LAM T.N. - Gasoline consumption in urban traffic. Society of Automotive Engineers, SAE Paper N° 760048, February 1976 (b).
- EVERALL P.F. - The effect of road and traffic conditions on fuel consumption. Ministry of Transport TRL Report LR 226, Crowthorne, 1968.
- JONES M.H. and APPLEBY M.R. - Driver performance and fuel economy. Paper presented at the 22nd Annual Meeting of Human Factors Society, Southfield, Michigan, October 1978.
- LABIALE G. - Influence du comportement du conducteur sur la consommation de carburant - Rapport IRT 1982, N° 58, 70 pages.
- OCDE - Consommation de carburant par les automobiles dans des conditions de circulation réelles - Rapport du groupe de recherche routière de l'OCDE, décembre 1981, 113 pages.
- ODSELL O., LAURELL H. - Möjliga bränslebesparingar med befintliga personbilar 1978, N° 157, 43 pages.
- POUND F.R. - Effects of driver behavior on fuel consumption - Communication presented at SAE - Australasia Energy Policy Advisory committee and Australian Road Research board - Melbourne 1980, 1-16.
- ROUMEGOUX J.P. - Relation entre l'émission du bruit et la consommation de carburant par les automobiles - Rapport IRT-CERNE 1976, 50 pages.
- TRRL (1980 a) - Research on fuel conservation for cars - Waters MHL ; Laker I.B. Laboratory Report 921, 1980 a, 34 pages.
- TRRL (July 1980 b) - Fuel consumption of diesel and petrol cars - Leaflet 785 2 pages 1980 b.