



à la Duree
→ d' 1/2

RECHERCHE-TRANSPORTS

3083

SOMMAIRE

- CONSOMMATION DE CARBURANT ET UTILISATION REELLE DES VEHICULES
- EXPERIMENTATION DU TROLLEYBUS BI-MODE TOUT ELECTRIQUE
- ROLE ET INCIDENCE DES SYSTEMES D'AIDE A L'EXPLOITATION DANS LES ENTREPRISES DE TRANSPORT COLLECTIF
- RENCONTRE DE RECHERCHE "TRANSPORTS COLLECTIFS DANS LES PAYS EN DEVELOPPÉMENT"
- NOUVELLES BREVES

N° 44

OCTOBRE 1983

REVUE TRIMESTRIELLE IMPRIMÉE ET ÉDITÉE
par l'INSTITUT DE RECHERCHE DES TRANSPORTS

Dépôt de titre N° 39.337

Directeur de la publication
Rédacteur en chef
Assistante de rédaction
Photographie

Jean-Pierre GIBLIN
André IMBERT
Florina LARUE
Alain ROUSSELLE

ÉDITION, VENTE ET ABONNEMENT

I.R.T., B.P. 84 - 94114 ARCUEIL CEDEX

Téléphone : 581.12.12

VENTE : le numéro 12 francs H.T.
(T.V.A. 4 %)

Les commandes doivent parvenir accompagnées d'un chèque bancaire, mandat ou virement postal (C.C.P. PARIS 9070-80) rédigé à l'ordre de l'Agent Comptable de l'I.R.T. ou, dans le cas d'une administration, d'un bon de commande dont une copie sera retournée avec la facture, le règlement devant intervenir dans les meilleurs délais.

N° com. paritaire : 1220 ADEP

Tous droits de reproduction, traduction, adaptation, totales ou partielles, sous quelque forme que ce soit, expressément réservés.

les recherches sur la consommation de carburant et l'utilisation réelle des véhicules automobiles

A l'occasion de son dixième anniversaire, l'I.R.T.-C.E.R.N.E. a dressé le bilan de ses activités de recherche. On en trouvera ci-après le deuxième volet relatif à la consommation de carburant et à l'utilisation réelle des véhicules automobiles (*).

Les recherches de l'I.R.T.-C.E.R.N.E. sur la consommation de carburant ont été orientées, depuis 1976, selon deux axes principaux :

- connaissance, modélisation et évaluation des consommations,
- moyens de réduction et évaluation des gains possibles.

Ces axes de recherches impliquent les objectifs suivants :

- connaissances théoriques de base sur les mécanismes physiques et les paramètres de consommation de carburant;
- recueil de données expérimentales, nécessitant la mise au point de méthodes et d'appareillages de mesures;
- études statistiques sur l'utilisation réelle des véhicules pour la mise en évidence et l'évaluation de l'intérêt de différentes solutions techniques ou organisationnelles pour la réduction de la consommation de carburant.

Après avoir présenté les méthodes utilisées et quelques résultats pour des recherches effectuées à l'I.R.T.-C.E.R.N.E. depuis 1976, on évoquera différents sujets sur lesquels on prévoit de travailler dans un avenir très proche.

I - LES MESURES DE CONSOMMATION DE CARBURANT : APPAREILLAGE ET METHODOLOGIE (1) (2)

Les études relatives à la consommation de carburant par les véhicules légers et utilitaires se multiplient et nécessitent très souvent des essais et mesures avec un ou plusieurs véhicules instrumentés en fonctionnement en site réel ou sur banc à rouleaux.

(*) Le premier volet paru dans RECHERCHE-TRANSPORTS de juillet 1988 était consacré aux recherches dans le domaine de l'environnement.

Le troisième volet qui traitera des recherches menées sur le confort des véhicules et des conditions de travail des conducteurs de véhicules de transport paraîtra dans le prochain numéro de Recherche-Transports.

Si l'on exclut dans un premier temps, les mesures de consommation réglementaires effectuées lors de l'homologation du véhicule selon une procédure fixée, un certain nombre de résultats de mesures actuellement connus sont inexploitablement ou entachés d'imprécisions importantes pour plusieurs raisons, parmi lesquelles :

- le choix d'un matériel de mesure inadapté,
- un nombre d'essais répétitifs trop réduit,
- une méconnaissance de l'état thermique du moteur (chaud ou froid) et l'absence de relevé des conditions météorologiques.

Il est donc apparu nécessaire à l'I.R.T.-C.E.R.N.E. de procéder à l'examen des conditions qui permettent de disposer à l'issue d'une campagne d'essais, d'une valeur de la consommation qui soit représentative et dont on puisse estimer la précision.

I-1 - Paramètres à mesurer - Matériel

La procédure de sélection du ou des véhicules à étudier en essais réels relevant d'une méthodologie connue par ailleurs et dépendant beaucoup des objectifs de l'étude (véhicule le plus vendu dans la gamme ...) on doit poser comme hypothèse que le véhicule choisi doit être réglé sur le plan mécanique selon les recommandations du constructeur sauf si l'on étudie la consommation du parc en l'état.

Le matériel équipant les véhicules du C.E.R.N.E. permet de mesurer :

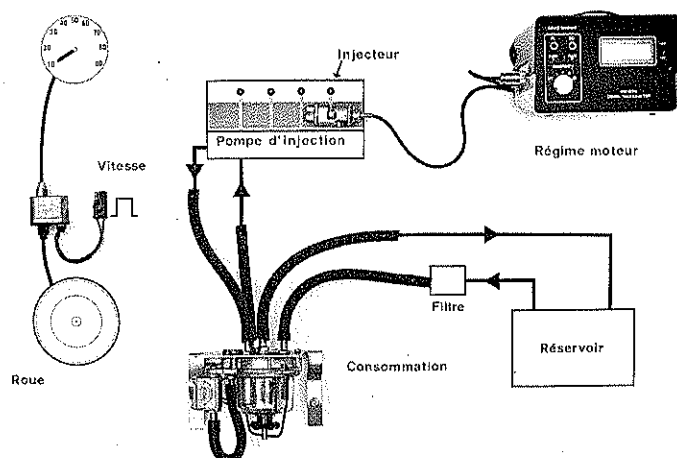
- la consommation
- le régime moteur
- la vitesse instantanée du véhicule
- le temps

et d'enregistrer ces paramètres sur support magnétique léger pour un traitement ultérieur au laboratoire.

Le mesureur de débit de carburant est un système à pistons ou à galets dont la précision est bonne; le régime moteur est prélevé sur le distributeur d'allumage pour les véhicules à essence ou à l'aide d'un capteur de proximité calé sur la roue dentée pour les véhicules diesels ou aussi grâce à un capteur permettant de compter le nombre de coups envoyés par la pompe d'injection; le paramètre vitesse est prélevé sur le câble compteur à la sortie de la boîte de vi-

tesse (ou sur une roue), enfin le temps est mesuré à l'aide d'un chronomètre ou mieux d'une horloge à quartz intégrée; un enregistreur analogique peut aussi fournir la base de temps.

La photo montre un exemple de montage sur véhicule à moteur diesel.



Montage de l'appareillage de mesure de vitesse, régime moteur et consommation de carburant sur un véhicule à moteur diesel

I-2 - Infrastructures d'essais - Trafic

Les objectifs des études conditionnent directement le choix de l'infrastructure sur laquelle se font les essais (autoroute, voirie urbaine ...) et indirectement la longueur minimum des trajets et le nombre d'essais minimum à effectuer afin de disposer de mesures précises et représentatives.

Ainsi, sur une autoroute à péage à trafic moyen, nous avons établi que les erreurs absolues concernant un essai pour un véhicule parcourant 1 kilomètre à 120 km/heure, sont au minimum de l'ordre de 1,5 à 2 % pour le volume consommé et de 1 % sur la mesure du temps; la solution pour réduire ces erreurs consiste à utiliser des portions de 2 à 3 kilomètres et à multiplier les essais. Par contre, exceptés les départs en vacances, les trafics sur autoroutes à péage sont fluides et l'incidence de la variation du trafic devient nulle.

La mesure en zone urbaine conduit à des contraintes tout à fait inverses : le paramètre trafic devient prépondérant alors que les faibles vitesses moyennes et les fortes consommations permettent d'opérer des essais sur des tronçons de 1 à 2 kilomètres, tout en conservant à chacun des essais une précision relative très bonne.

En conclusion, sauf dans le cas de mesures très particulières, la longueur minimum des trajets à prendre en compte selon l'infrastructure de la voirie sera la suivante :

- autoroute avec trafic fluide > 2 à 4 km
- route avec trafic fluide > 4 à 10 km
- zone urbaine avec trafic fluide à chargé > 1 à 2 km

Il est évident que la quantité de trafic variant selon l'heure de la journée, ce paramètre devra être neutralisé en procédant aux essais toujours à la même heure.

I-3 - Nombre d'essais à effectuer

L'I.R.T.-C.E.R.N.E. a procédé à l'analyse statistique de résultats de mesures obtenues à l'issue d'une importante série de circuits effectués en situations réelles sur route, autoroute et en zone urbaine dans des conditions aussi voisines que possible :

- même saison (absence de pluie ou de vent fort)
- même conducteur
- même véhicule, moteur chaud

Au terme de l'analyse statistique, il ressort que pour disposer d'un résultat proche de $\pm 2\%$ de la valeur que l'on obtiendrait sur un même tronçon en effectuant un grand nombre d'essais, il est nécessaire de parcourir chaque tronçon :

- au moins 6 fois pour un tronçon autoroutier
- au moins 20 fois pour un tronçon routier à circulation fluide
- plus de 20 fois pour un tronçon urbain à voirie large
- plus de 25 fois pour un tronçon urbain à voirie étroite et encombrée

Seul le respect de toutes ces précautions au niveau du matériel, des conditions opératoires et du nombre d'essais à effectuer permet de disposer de résultats de consommation représentatifs et utilisables.

II - INFLUENCE DU DEMARRAGE A FROID SUR LA CONSOMMATION (3) (4) (5)

II-1 - Objectif

Dans la perspective de disposer d'éléments permettant de préciser l'importance de la surconsommation lors des démarrages à froid et en circulation par temps froid, l'I.R.T.-C.E.R.N.E. a mené différents essais avec départs moteur froid et moteur chaud pour différentes conditions de fonctionnement et diverses températures ambiantes. On doit rappeler que cet aspect n'est jamais pris en compte dans les mesures de consommation normalisées.

II-2 - Résultats - Véhicules légers à essence

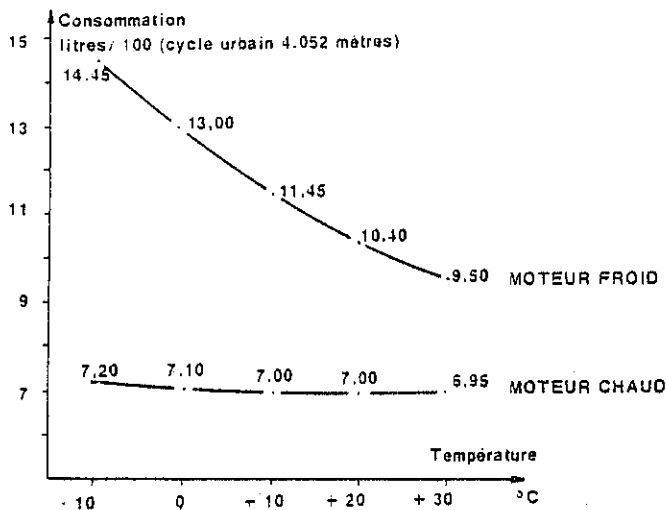
Les résultats expérimentaux obtenus montrent que l'incidence de la température ambiante sur la consommation de carburant d'un véhicule à essence est importante quelle que soit la phase de fonctionnement du moteur, mais essentiellement lors de la mise en température après un démarrage avec moteur froid.

En effet, on constate tout d'abord qu'un véhicule de taille moyenne doit parcourir 10 à 12 km pour que le moteur atteigne la température optimale de marche.

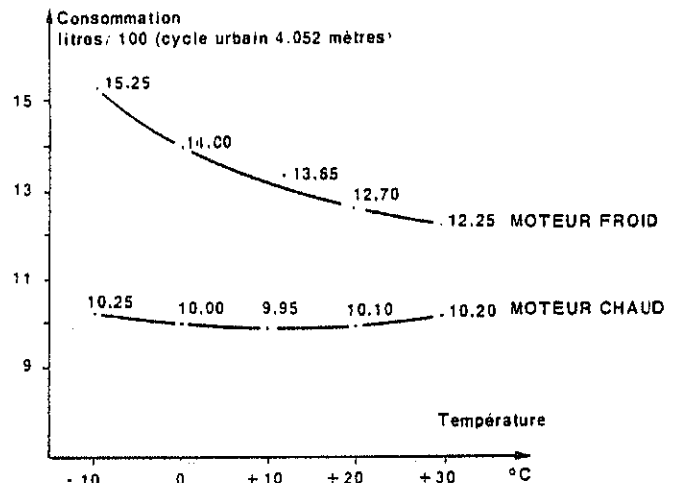
Tout trajet effectué en zone urbaine (cycle Europe) d'une longueur égale ou supérieure à 1 km avec départ froid par une température ambiante de 20° C entraîne une surconsommation réelle de plus de 0,2 litre d'essence par rapport à la consommation sur le même trajet mais moteur chaud; cet effet est aggravé si la température ambiante diminue.

Lorsque le moteur est chaud, en zone urbaine, tout abaissement de la température ambiante de 1° C se traduit par une augmentation de la consommation de 0,2 % entre 25° C et 7 - 8° C et de l'ordre de 0,5 % pour des températures plus basses.

Les premiers résultats d'essais en circulation réelle confirment l'importance de la température ambiante sur la consommation tant lors de la période de mise en température après départ à froid qu'en circulation moteur chaud.



Véhicules bas de gamme de très grande diffusion (modèle 1980)



Véhicules gamme moyenne de grande diffusion (modèle 1980)

Figure 1 : Incidence de la température ambiante sur les consommations après un départ à froid et un départ à chaud pour un trajet urbain de 4 km (Cycle Europe : 4052 m) (Etude IRT-CERNE)

Quel que soit le mode d'utilisation du véhicule (utilisation urbaine ou routière) dès que la longueur du trajet dépasse 2 à 3 km, la mise en température du moteur nécessite, en volume absolu pour un véhicule moyen, une consommation de carburant :

- de l'ordre de 0,2 l pour une température ambiante comprise entre 20 et 25° C,
- de l'ordre de 0,3 à 0,4 l pour une température ambiante de 3 à 4° C.

Enfin la consommation correspondant à un trajet de 5 km avec départ à froid et une température ambiante de 3 à 4° C peut dépasser de plus de 80 % la consommation relative à un même trajet avec moteur chaud et température ambiante de 20 à 25° C.

Ces essais étendus à des véhicules de tailles variées ont montré que certains véhicules de petite taille sont plus sensibles à la température ambiante que les modèles de taille moyenne.

II-3 - Résultats - Véhicules légers diesel

Bien que certains résultats obtenus par ailleurs montrent que la surconsommation des moteurs diesel à froid soit très faible ou nulle, les essais effectués par l'I.R.T.-C.E.R.N.E. montrent que la surconsommation des véhicules à moteur diesel lors des départs à froid est, suivant les modèles, plus faible ou du même ordre en pourcentage que celle des véhicules équivalents à moteur à essence.

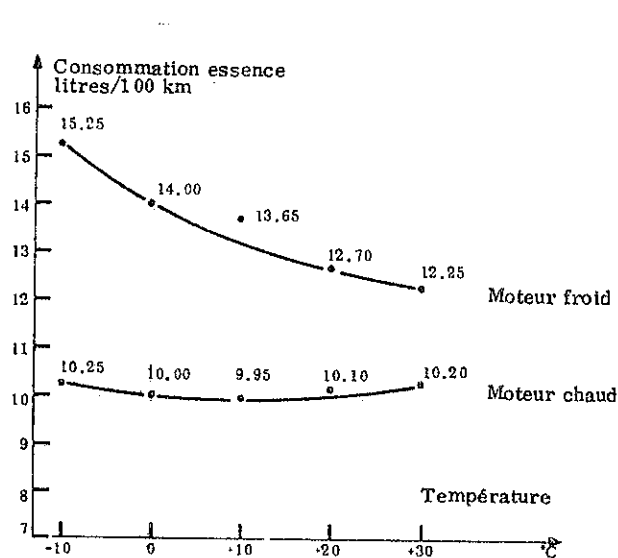


Figure 2 : Version essence (1400 cm³ - 46 kW)

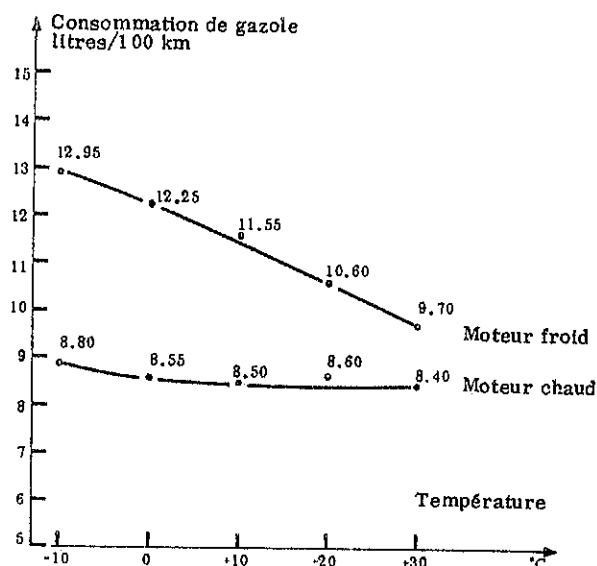


Figure 3 : Version diesel (2070 cm³ - 48 kW)

Incidence de la température ambiante sur les consommations après un départ à froid et après un départ à chaud pour un trajet urbain de 4 km (Cycle Europe : 4052 mètres)
Véhicule gamme moyenne de grande diffusion (modèle 1980) (Etude IRT-CERNE)

	- 10°	0°	+ 10°	+ 20°	+ 30°
Version essence	48	40	37	25	20
Version diesel	47	43	36	23	15
Surconsommation moteur froid/ moteur chaud (en %)					

TABLEAU 1

III - L'UTILISATION REELLE DES VEHICULES LEGERS (1) (6)

III-1 - Rappel

De nombreuses actions de recherche et de développement visent à réduire la consommation unitaire des véhicules, mais le bilan de telles améliorations ne peut être effectué que si on connaît l'usage réel de la voiture; cette connaissance pouvant à son tour orienter la conception des efforts technologiques dans la consommation de carburant.

On a donc conçu à l'I.R.T.-C.E.R.N.E., à la demande de l'A.F.M.E. (x) et de la D.S.C.R. (xx) une recherche à deux volets :

- une enquête statistique destinée à connaître la structure du kilométrage des parcours effectués, en fonction de la vitesse du véhicule et des types de voies utilisées : autoroutes, routes, grandes artères urbaines et voirie de desserte. Cette enquête par carnets relève la fréquence d'utilisation des accessoires (starter, phares, ventilation, dégivrage, etc...) et permet de calculer diverses consommations unitaires de 1.280 véhicules de l'échantillon,
- un volet technologique concernant les relevés précis des données de régime, température et charge des moteurs, auprès d'une trentaine de véhicules représentatifs du parc et instrumentés à l'aide de divers capteurs.

III-2 - Enquête par carnets - Méthode - Résultats

Méthode

On a réalisé une enquête relative aux véhicules réellement utilisés par les ménages. Le champ de l'enquête inclut tous les véhicules de moins de 3,5 t qui sont utilisés au moins partiellement pour des motifs personnels. L'enquête a permis d'observer les mêmes véhicules au cours de 3 vagues, une réalisée en hiver, une au printemps, une en été.

On a constitué un échantillon aléatoire de ménages motorisés, stratifié selon la taille des agglomérations (Paris → milieu rural) et selon 4 zones climatiques. 1.281 voitures composent l'échantillon de la première vague parmi lesquelles 1.018 ont circulé. A la troisième vague du panel, cet échantillon est réduit à 708 véhicules.

(x) Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie.

(xx) Direction de la Sécurité et de la Circulation Routière.

Résultat

Le kilométrage hebdomadaire est en moyenne de 280 km.

Selon les saisons :

- 248 km ($\sigma = 200$) en hiver
- 261 km ($\sigma = 247$) au printemps
- 350 km ($\sigma = 355$) en été

Le calcul d'un kilométrage annuel conduit à une moyenne de 13.800 km qui varie avec un certain nombre de facteurs, la puissance du véhicule par exemple :

- | | |
|--------------------|---------------|
| - gamme 2 - 5 CV | 11.180 km/ an |
| - gamme 6 - 9 CV | 13.660 km/ an |
| - gamme 10 CV et + | 15.200 km/ an |

On note que 70 % des véhicules parcourent la moitié du kilométrage total parcouru par tous les véhicules de l'échantillon.

La composition en trajets élémentaires varie très sensiblement en fonction du kilométrage hebdomadaire, notamment pour les gros rouleurs; les déplacements supérieurs à 50 km sont nombreux pour les voitures qui parcourent plus de 300 km/ semaine. Le nombre des petits déplacements ($d < 5$ km) diminue en sens inverse. On a mis en évidence l'importance des courts trajets qui représentent un pourcentage variable de la distance totale parcourue par l'ensemble des véhicules : 12,6 % en hiver, 11,4 % en saison intermédiaire, 7,2 % en été.

On a examiné de plus près la structure des longueurs de trajets et on constate que la moitié de la distance totale parcourue correspond à l'ensemble des déplacements inférieurs à 20 km en hiver, à 35 km au printemps et à 50 km en été.

La longueur moyenne d'un trajet varie de 9 km en hiver à 15 km en été, le nombre de trajets automobiles quotidiens passant de 2,3 à 3.

Une autre observation intéressante concerne l'intervalle de temps entre 2 trajets, durée pendant laquelle le moteur refroidit. On a fixé cette durée à 2 h en hiver et 4 h en été pour que le moteur redevienne froid. On constate que plus de la moitié des trajets est effectuée avec un départ à froid. Cette proportion est plus forte en hiver et augmente aussi avec la longueur des trajets.

L'enquête a fourni un premier ordre de grandeur **des types de voies** utilisées par les véhicules, ce qui permet d'avoir une idée sur la vitesse et la fluidité de l'écoulement du trafic :

- les routes de campagnes : plus de 50 % de la distance totale parcourue,
- la voirie urbaine : de l'ordre de 25 % + 14 % pour les voies urbaines rapides,
- les autoroutes : leur fréquentation va de 6 % en hiver à 13 % en été.

La longueur moyenne des trajets élémentaires effectués par types de voies s'établit à 20 km sur route, 41 km sur autoroute (pointe de 60 km en été), 4 km en ville et 22 km pour les trajets mixtes. Si on considère la répartition des types de voies selon la longueur d'un trajet, on constate que les trajets inférieurs à 5 km sont effectués sur voirie urbaine pour plus de 75 % du kilométrage. Compte-tenu de l'importance du départ à froid pour les courts trajets et du type de trafic on a là une source très importante de surconsommation de carburant.

Les données sur la **consommation des véhicules** en condition réaliste d'utilisation constituent le 2ème important volet des résultats de cette recherche.

La consommation moyenne s'établit à 9,75 l/100 km pour l'ensemble de l'enquête. Cette consommation diminue à 8,75 l en été, en liaison avec les conditions climatiques, la fréquence de longs trajets (> 50 km) et l'utilisation des autoroutes. La consommation augmente à 11 l/100 km en décembre, essentiellement en liaison avec la température extérieure et aussi par une plus grande fréquence des courts trajets effectués sur voirie urbaine.

D'après les résultats obtenus, la consommation moyenne n'a que très peu diminué pour les automobiles construites entre 1975 et 1980.

Année des modèles	1980	1979	1978	1977	1976	1975-70
Hiver	9,7	9,8	8,6	9,7	9,6	10,5
Printemps	8,7	8,1	8,7	8,6	9,5	9,4
Eté	9,8	9,0	8,4	8,5	8,1	9,7

Consommation en l/100 km

Cela s'expliquerait par le fait que la consommation en circulation réelle n'est que faiblement corrélée avec les consommations conventionnelles.

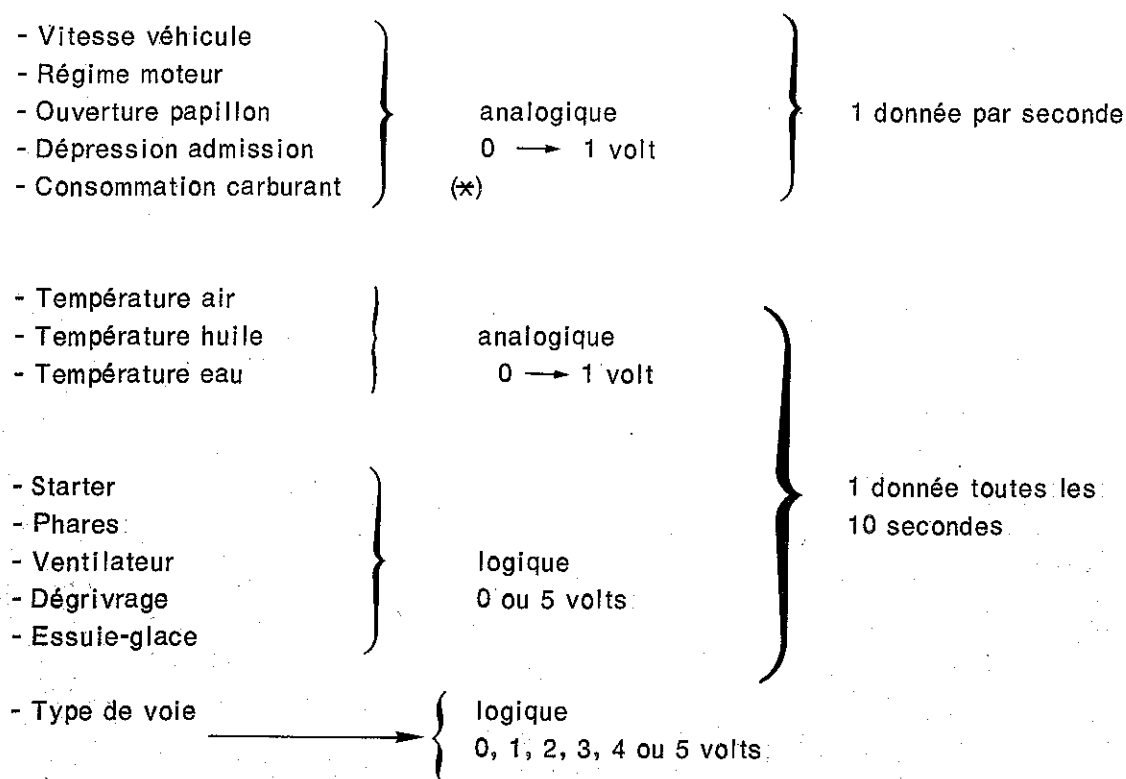
III-3 - Mesures expérimentales - Méthode - Exemple de résultats

Méthode

Un échantillon de 50 véhicules représentatif des modèles de véhicules légers français les plus vendus depuis 1979 a été élaboré.

Cet échantillon doit être instrumenté et être totalement autonome grâce à un système embarqué qui stocke l'information correspondant au moins à 40 heures de fonctionnement du véhicule.

Les paramètres pris en compte à bord des véhicules, avec les cadences d'échantillonnage sont les suivants :



- l'évaluation de la consommation de carburant dans le cas où elle n'est pas mesurable, par exemple sur une distance très courte, ou pour l'ensemble d'un trafic, ou pour des véhicules hypothétiques ...;
- le calcul de la consommation moyennant par ailleurs l'évaluation de la cinématique du véhicule à l'aide d'un modèle de simulation de marche; ceci permet d'éviter de nombreuses mesures sur le terrain qui sont souvent longues et coûteuses.

Les exemples qui suivent, relatifs aux voitures particulières, montrent quelques-unes des possibilités.

IV-2-1 - Performances et consommation de carburant

Le modèle a permis d'étudier l'influence des caractéristiques d'un véhicule sur sa consommation de carburant :

- coefficient de pénétration dans l'air
- masse
- puissance maximale du moteur
- rapport de transmission

Les diagrammes de la figure 4 sont un exemple de résultat obtenu pour une voiture particulière équipée d'un moteur à essence classique; on trouve, selon la masse du véhicule et la puissance maximale du moteur :

- d'une part les valeurs de consommation en essai urbain (cycle Europe ECE 15);
- d'autre part les performances d'accélération et de vitesse maximale qui ont été calculées par ailleurs.

On remarque que fixer une valeur limite de consommation à ne pas dépasser revient à limiter, à masse donnée, les performances du véhicule; par exemple, pour ne pas dépasser 8 l/100 km, un véhicule de 900 kg sera équipé d'un moteur de puissance inférieure à 36 kw et en conséquence ses performances seront inférieures à 130 km/h de vitesse maximale et 22 s sur 400 m départ arrêté.

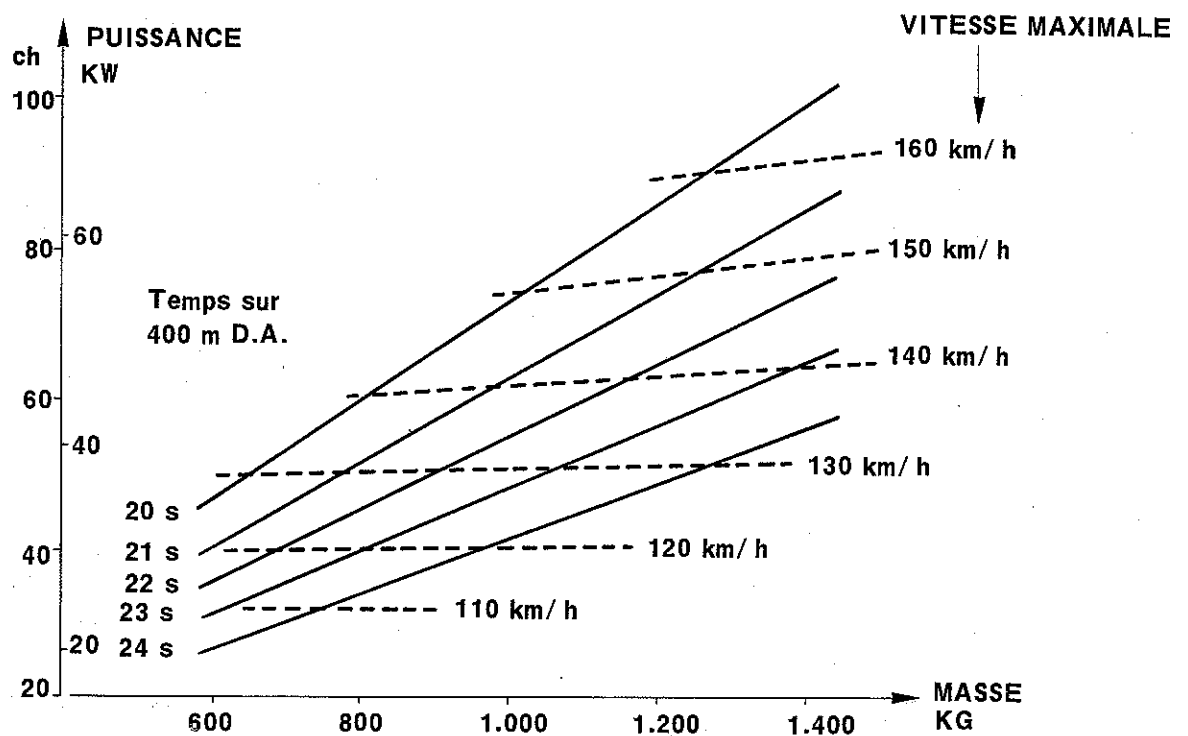
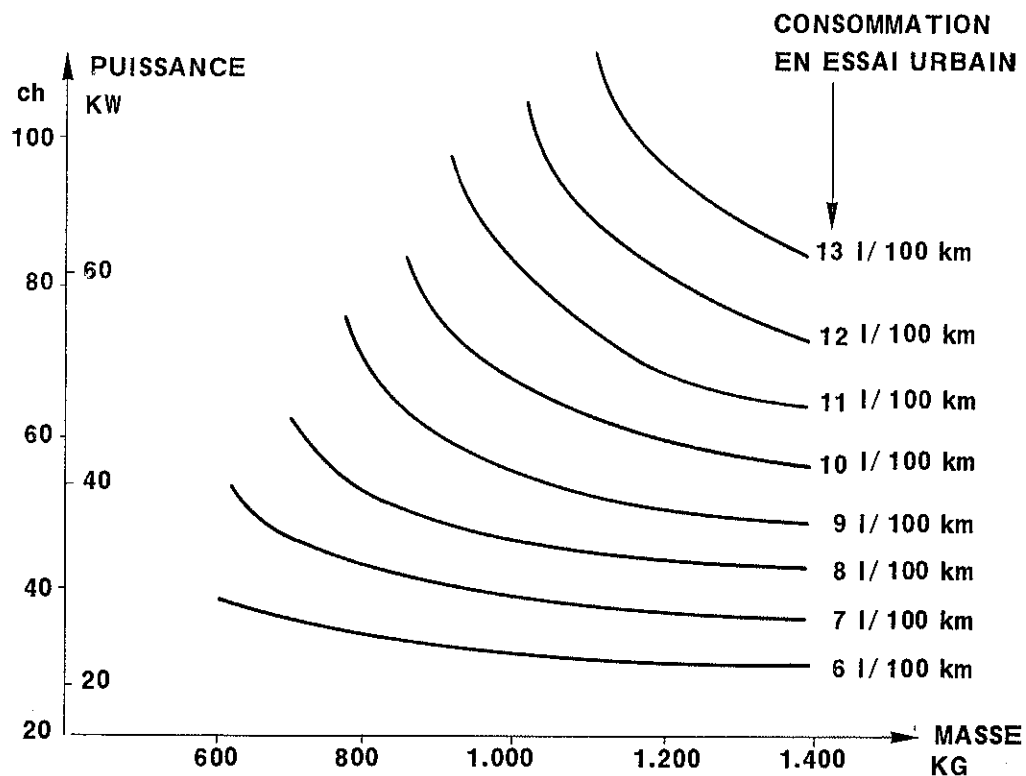


Figure 4 : Influence des caractéristiques masse et puissance maximale sur la consommation (en essai urbain sur cycle ECE 15) et les performances du véhicule (voiture particulière équipée d'un moteur à essence classique)

IV-2-2 - Influence du style de conduite

Des mesures effectuées en circulation urbaine ont mis en évidence des écarts de consommation atteignant, sur le même trajet, 20 % entre deux conducteurs différents; le modèle présenté ici permet d'étudier avec précision l'influence de l'utilisation des rapports de boîte de vitesses, des valeurs d'accélération et des vitesses atteintes. Un exemple est montré sur la figure 5 où le conducteur nerveux consomme 50 % de plus que le conducteur calme pour la même vitesse moyenne sur la même distance (réf. 7).

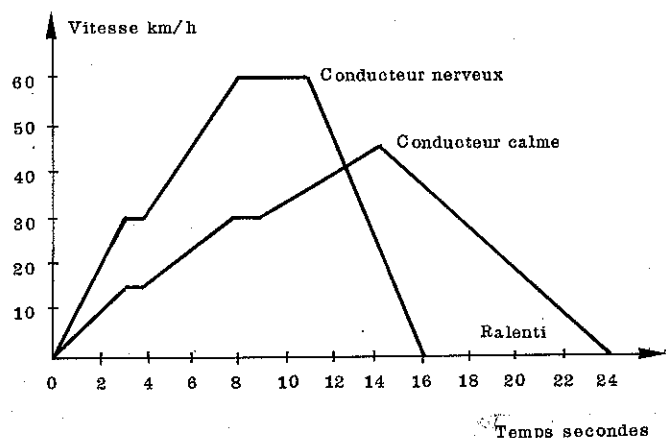


Figure 5 : Etude de l'influence du style de conduite sur la consommation de carburant; exemple de diagrammes vitesse-temps

IV-2-3 - Consommation d'un trafic à un carrefour à feux

On a été amené à utiliser le modèle du débit instantané lors d'une étude portant sur l'incidence des aménagements urbains sur la consommation de carburant du trafic (réf. 8). Dans ce cadre il fallait évaluer puis étudier les variations de la consommation d'un trafic aux abords d'un carrefour à feux, ce qui est impossible à réaliser par la mesure.

Un modèle de simulation du trafic calculant à chaque seconde la vitesse et l'accélération de chacun des véhicules composant le trafic a été utilisé; ces données cinématiques permettent l'évaluation de la consommation à l'aide du modèle du débit instantané.

Un exemple de résultat obtenu est représenté sur la figure 6; ce type de résultat a par la suite servi à établir un modèle agrégé d'évaluation de la consommation, ce qui constitue une autre application du modèle de débit de carburant.

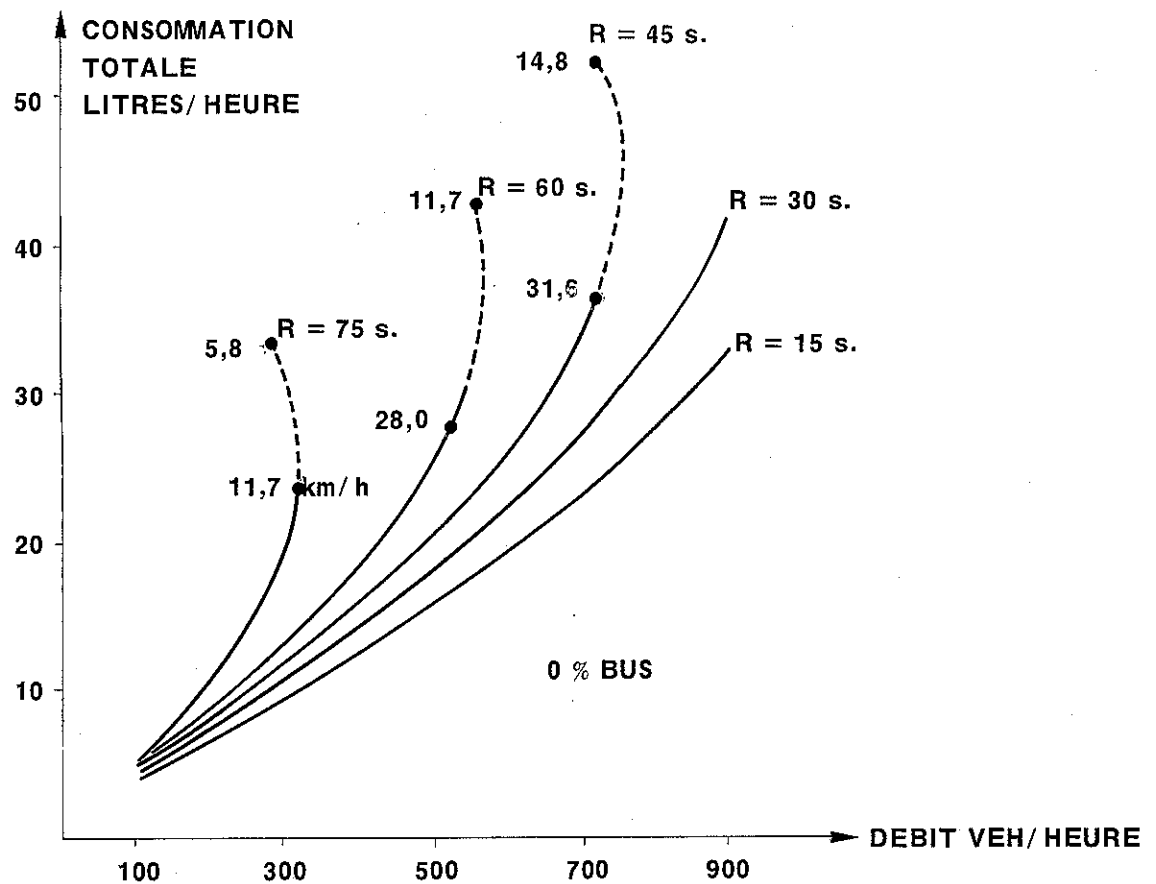


Figure 6 : Résultat de simulation : consommation horaire totale d'un trafic de voitures particulières sur un segment de 600 mètres englobant un feu de circulation, selon le débit horaire (une voie de circulation) et la durée de la phase rouge R (cycle total 90 s)

----- Saturation
 11,7● Vitesse moyenne du trafic

V - EVALUATION DES CONSOMMATIONS A L'AIDE DE MODELES AGREGES

L'utilisation d'un modèle du débit instantané de carburant n'est pas envisageable dans tous les cas, bien évidemment dans ceux où l'on ne dispose pas des cinématiques instantanées, mais aussi dans les cas où il s'agit d'un réseau routier de longueur importante. Ainsi des modèles agrégés ont été élaborés pour l'évaluation de l'impact sur la consommation du trafic de plans de circulation ou de régulation des feux, de modifications des caractéristiques d'infrastructure ...

Les formes de ces modèles sont établies à priori sur des bases théoriques et de nombreuses mesures permettent ensuite leur calage. Les exemples qui suivent se rapportent au cas d'un véhicule léger moyen du trafic.

V-1 - La consommation de carburant en circulation urbaine

V-1-1 - Influence des conditions de circulation

Le modèle le plus connu, étudié et mis au point dans de nombreux pays, met en relation la quantité de carburant consommée avec la distance parcourue et le temps de parcours :

$$Q \text{ (litres)} = a \cdot D \text{ (km)} + b \cdot T \text{ (h)}$$

Un tel modèle est bien adapté pour l'évaluation de l'impact d'un plan de circulation qui modifie D (sens uniques ...) et T (en général T/D diminue, c'est-à-dire que la vitesse moyenne augmente).

La division par la distance conduit à :

$$C \text{ (l/100 km)} = a + \frac{b}{V} \text{ où } V \text{ est la vitesse moyenne (km/h)}$$

qui montre que plus on va vite, moins on consomme (V restant cependant inférieure à 60 km/h).

Ce type de modèle permet d'expliquer environ 80 % de la variance de la consommation mesurée sur des trajets urbains comportant différents types de voies; mais les recherches montrent qu'il existe des écarts très importants d'un type de voie à l'autre (réf. 9) comme on le voit sur la figure 7. Les causes de ces écarts ont été étudiées de façon approfondie (réf. 9); ils proviennent de modifications de la corrélation générale qui existe entre vitesse moyenne, nombre d'arrêts, durée des arrêts et degré de fluctuation de la vitesse entre les arrêts; à l'occasion de

cette étude on a aussi montré que le coût en carburant des arrêts est très variable selon les conditions de circulation et que l'instabilité de la vitesse entre les arrêts coûte autant de carburant que plusieurs arrêts. Des modèles de consommation relativement précis ont été élaborés, mais au prix d'une complexité supérieure à celle du modèle présenté plus haut.

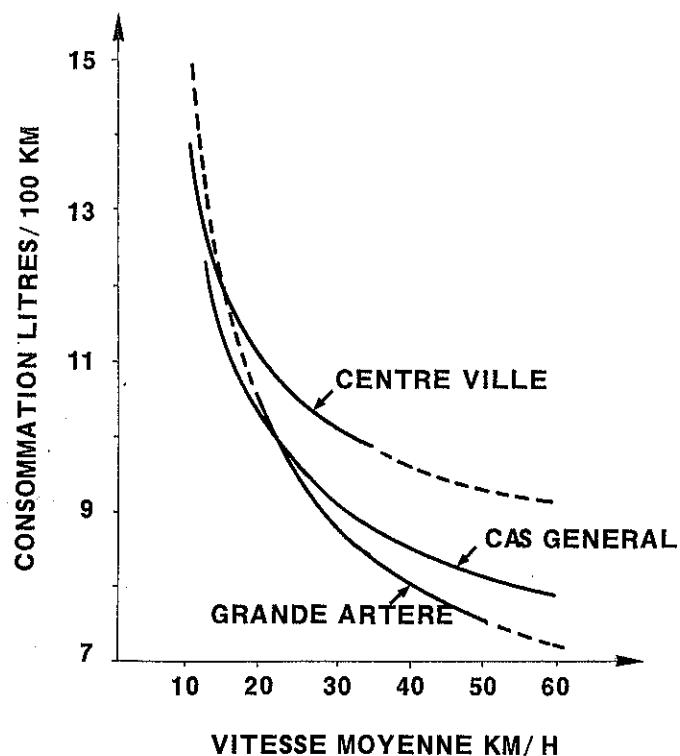


Figure 7 : Consommation de carburant en fonction de la vitesse moyenne pour deux types de voie et pour le cas général

V-1-2 - Influence des limitations de vitesse

Pour l'évaluation de l'influence de limitations de vitesse sur la consommation de carburant du trafic urbain, l'I.R.T.-C.E.R.N.E. à la demande de l'A.F.M.E. a été conduit à élaborer un modèle agrégé spécifique (réf. 10); ce modèle prend en compte, pour un trajet de longueur donnée :

- la vitesse maximale atteinte,
- le nombre et la durée des arrêts,
- un paramètre caractéristique de l'utilisation de la boîte de vitesses.

Le calage du modèle a été effectué à l'aide de mesures réalisées sur différents types de voies avec plusieurs conducteurs; la figure 8 montre une représentation du modèle pour deux conducteurs présentant une utilisation différente de la boîte de vitesses.

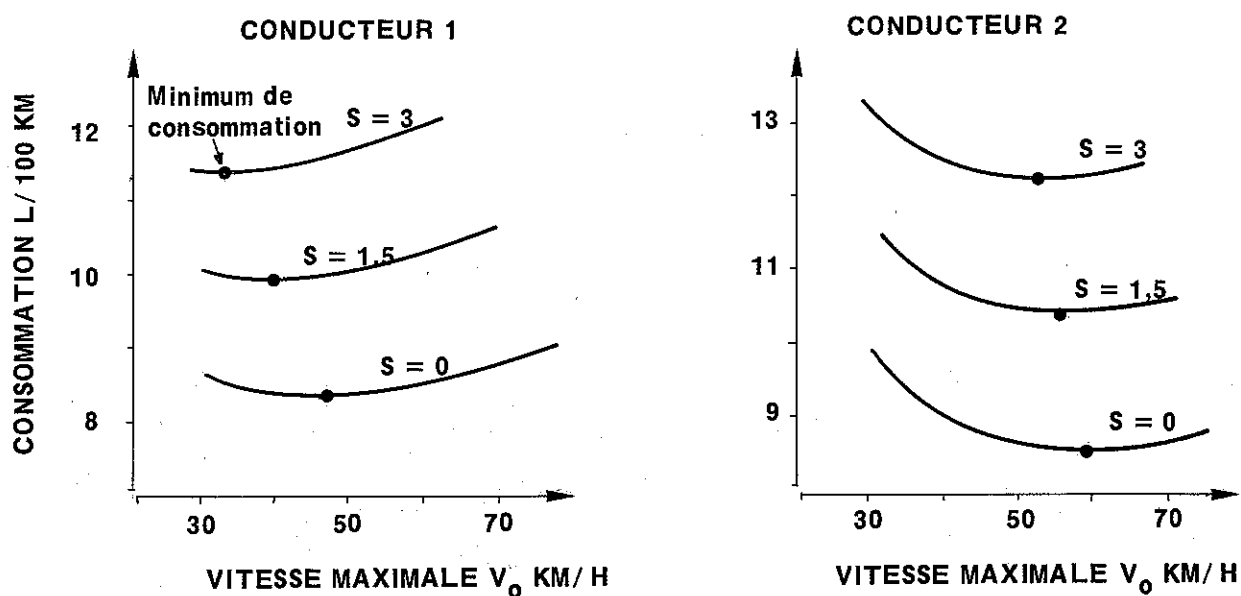


Figure 8 : Consommation de carburant en fonction de la vitesse maximale V_0 pour trois valeurs du nombre d'arrêts au kilomètre S; influence du style de conduite

On remarque en particulier que la consommation passe par des minima pour des valeurs de vitesse maximale différentes selon le conducteur et que si on fait varier la valeur de vitesse maximale imposée, il y a dans certains cas augmentation de consommation pour un conducteur alors qu'il y a réduction pour l'autre; le bilan énergétique d'une limitation de vitesse est donc très dépendant des styles de conduite.

Ce bilan dépend aussi, bien entendu, du type de voie et de la possibilité d'atteindre la vitesse limite imposée selon les conditions de circulation.

Une évaluation, au niveau national, a pu être effectuée et montre que :

- le respect strict de la vitesse limite de 60 km/h permettrait d'économiser environ 45.000 tonnes de carburant par an, dont 80 % viennent de la réduction de la consommation du trafic nocturne;
- l'abaissement de cette limite à 50 km/h pourrait entraîner une surconsommation de carburant si elle était strictement respectée. Dans le cas traditionnel de tolérance de dépassement des limites, une économie serait possible.

V-2 - Consommation de carburant en rase campagne

A la demande de la Direction des Routes et de la Circulation Routière (D.R.C.R.) des modèles permettant d'évaluer la consommation de carburant du trafic en fonction des caractéristiques d'infrastructure ont été élaborés (réf. 11); ces modèles, qui ont été intégrés à la dernière circulaire sur les investissements routiers, sont destinés à effectuer le bilan énergétique d'aménagements d'infrastructure (rectification de tracé, aménagement sur place ...) ou d'infrastructures nouvelles en projet.

Les paramètres pris en compte sont :

- concernant le trafic : la composition en types de véhicules (3 gammes de voitures particulières, 5 types de poids lourds de 3,5 t à 38 t de poids total) et la vitesse moyenne de parcours;
- concernant l'infrastructure : les pentes et la sinuosité (nombre, rayons et longueurs des virages), le type (route, autoroute).

Le modèle établi pour les voitures particulières en circulation fluide sur chaussée horizontale est représenté sur la figure 9.

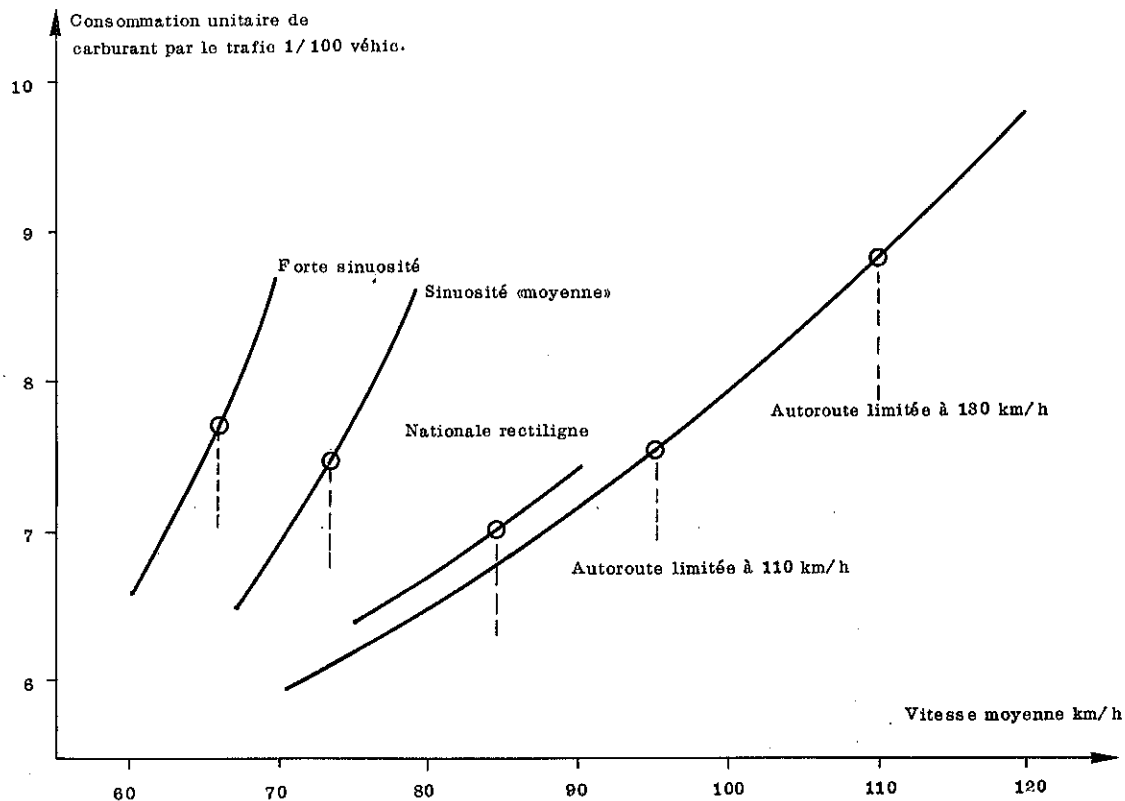


Figure 9 : Consommation unitaire de carburant par le trafic de véhicules légers selon la vitesse et le type de parcours; points moyens observés en circulation fluide (la consommation est ramenée à pente nulle)

On peut par exemple remarquer que le trafic de voitures particulières consomme moins (aux 100 km) à 95 km/h de moyenne sur autoroute qu'à 65 km/h de moyenne sur une route départementale fortement sinueuse.

L'influence des pentes de la chaussée est considérable :

- une voiture légère moyenne consomme, à 80 km/h, 6 l/100 km sur plat, 12 l/100 km dans une rampe à 6 % et 1,5 l/100 km dans une descente à 6 %;
- un ensemble tracteur - semi-remorque de 38 tonnes consomme, à 80 km/h sur plat, 39 l/100 km, à 25 km/h dans une rampe à 6 %, 200 l/100 km, et dans une descente à 6 %, 0 l/100 km (coupure de l'alimentation sur moteur diesel à injection directe).

VI - POURSUITE DES ETUDES SUR LA CONSOMMATION DE CARBURANT

Mises à part les recherches qui viennent d'être évoquées et pour lesquelles de nombreux points sont encore à approfondir, il est nécessaire de travailler, dans un proche avenir, sur les sujets suivants :

- **utilisation réelle des véhicules** : l'étude en cours sur les voitures particulières est à étendre au cas de tous les types de véhicules et notamment des véhicules utilitaires légers; ceci permettrait en particulier de fournir aux constructeurs de ces véhicules les éléments nécessaires à l'évaluation de l'intérêt énergétique de systèmes de récupération de l'énergie de freinage; en ce qui concerne les poids lourds maxi-code (38 t) il faut rassembler des éléments permettant de juger de l'impact global d'une modification du code des poids et dimensions, qui aideraient notamment à la définition des caractéristiques du poids lourd futur étudié par Renault Véhicules Industriels dans son projet VIRAGES; une enquête sur l'utilisation de ces véhicules en poids et en volume est prévue;
- **évaluation de l'impact réel de modifications techniques des véhicules** : dans ce thème, on étudiera, par exemple, l'intérêt des boîtes de vitesses à 5 rapports en comparaison aux boîtes à 4 rapports; en effet, les boîtes de vitesse à 5 rapports permettent, au niveau fiscal de réduire la puissance fiscale du véhicule (d'où le coût de la vignette, de l'assurance...) et au niveau énergétique, de réduire les consommations de carburant dans le cas de vitesse stabilisée sur des chaussées bien horizontales et rectilignes; dans les autres cas, l'impact réel est aujourd'hui inconnu; ce sujet rejoint celui de l'utilisation réelle des véhicules;
- **évaluation de l'impact énergétique de l'organisation du transport** : qu'il s'agisse de transport de personnes (par exemple, le ramassage scolaire) ou de marchandises (tournées de livraisons...), il apparaît que l'organisation du transport sur les plans types de véhicules utilisés, itinéraires suivis, éventuellement horaires, répartition des chargements... peut apporter d'importantes économies, notamment de carburant; des méthodes d'évaluation sont à mettre au point et des études de cas à effectuer;
- **études sur le comportement des conducteurs** : il est démontré que le style de conduite a une influence considérable sur la consommation de carburant des véhicules; que ce soient des voitures particulières, des autobus ou des poids lourds; des écarts dépassant 20 %, même à vitesse moyenne de parcours égale, sont couramment mesurés, ce qui montre qu'une action dans ce domaine permet de réaliser d'importantes économies de carburant; il s'agira dans un premier temps de caractériser les styles de conduite et les comportements, dans un second temps d'envisager les moyens à mettre en oeuvre pour une action au niveau des conducteurs et d'évaluer l'impact de différentes solutions.

Ces sujets de recherches ne constituent pas une liste exhaustive mais rentrent dans les thèmes pour lesquels l'enjeu énergétique est certainement important; ce critère ne doit pas être oublié dans la définition d'un programme de recherche sur la consommation d'énergie.

REFERENCES

- 1 - L'instrumentation des véhicules en vue des études de consommation d'énergie. Matériel de prises de données. Stockage et traitement des données - Rapport I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 31 - J. DELSEY - Décembre 1980 - 29 pages
- 2 - La méthodologie des mesures de consommation sur véhicules - Rapport I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 32 - J. DELSEY - Janvier 1981 - 26 pages
- 3 - Influence de la température ambiante et de la longueur du trajet sur la consommation de carburant des automobiles - Rapport I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 29 - J. DELSEY - J.P. BAC - R. VIDON - Décembre 1980 - 62 pages
- 4 - Incidence des départs à froid et de la température ambiante sur la consommation des véhicules à essence - J. DELSEY - Recherche-Transports n° 85 - Juillet 1981
- 5 - La consommation énergétique par les auxiliaires et accessoires utilisés sur les véhicules routiers - Rapport I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 47 - M. ANDRE - Avril 1982 - 112 pages
- 6 - Enquête sur l'utilisation réelle des voitures en France - Rapport final A.F.M.E./I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 50 - M. VALLET - J.L. YGNACE - M. MAURIN - Octobre 1982 - 141 pages
- 7 - Consommation d'énergie par la circulation routière - Note d'information I.R.T. n° 14 - J.P. ROUMEGOUX et al. - Mai 1979 - 119 pages
- 8 - Incidence des aménagements de l'infrastructure urbaine sur la consommation de carburant du trafic - Rapport d'étude D.R.C.R./I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 48 - J.P. ROUMEGOUX - Juin 1982 - 83 pages
- 9 - Consommation de carburant des voitures particulières et des autobus en zone urbaine - Rapport d'étude S.E.R.E.S./I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 40 - J.P. ROUMEGOUX - Octobre 1981 - 117 pages
- 10 - Influence de limitations de vitesse sur la consommation de carburant des voitures particulières - Rapport d'étude A.E.E./I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 45 - J.P. ROUMEGOUX - Mars 1982 - 50 pages
- 11 - Amélioration du modèle de prévision de la consommation de carburant du trafic routier en rase campagne - Rapport d'étude D.R.C.R./I.R.T.-C.E.R.N.E. - NNE 22 - J.P. ROUMEGOUX - Novembre 1979 - 60 pages

bilan de l'expérimentation du trolleybus bi-mode tout électrique

Par rapport à l'autobus dont il reprend la structure, le trolleybus dispose des nombreux avantages bien connus liés à sa motorisation électrique (diversification des sources d'énergie primaire, silence, confort, absence de pollution, fiabilité, ...).

En revanche, son principal défaut provient de son système d'alimentation en énergie électrique constitué par la ligne aérienne qui est non seulement chère et inesthétique dans certains sites mais encore qui impose au système une rigidité d'exploitation très contraignante.

Aussi, le renouveau de la traction électrique dans les transports collectifs urbains devait passer par la mise au point de matériels qui disposent des avantages des trolleybus tout en limitant ses inconvénients.

C'est dans ce sens que plusieurs pays (*) ont engagé, depuis une dizaine d'années, le développement de trolleybus bi-modes qui par leur double motorisation permettent d'une part d'assurer au trolleybus la souplesse d'exploitation de l'autobus et d'autre part de supprimer la ligne aérienne là où elle est indésirable (dépôts, centre historique, carrefours complexes, travaux de longue durée).

En France, la Direction des Transports Terrestres confiait à TREGIE (groupe Renault), dès 1977, la réalisation d'un véhicule probatoire de trolleybus bi-mode électrique.

L'I.R.T. intervenait dans ce programme en assurant l'animation de la commission technique chargée du suivi. Le présent document résume les principaux résultats de cette expérimentation.

1 - PRESENTATION DU VEHICULE

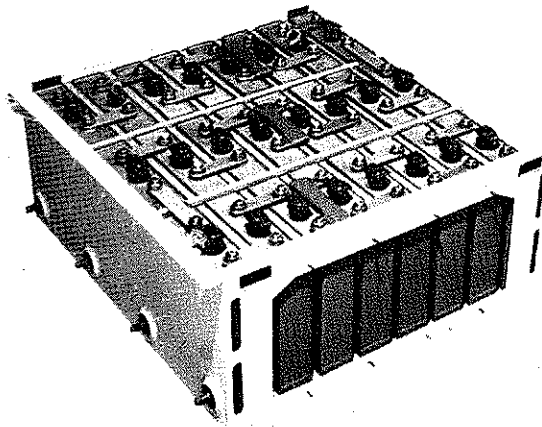
Pour assurer l'autonomie, plusieurs solutions sont disponibles :

- batteries
- groupe électrogène (moteur thermique - alternateur)
- moteur thermique avec transmission mécanique

(*) France, R.F.A., Italie, Etats-Unis, Japon.

- moteur thermique avec transmission électrique (moteur thermique/ alternateur/ redresseurs/ moteur électrique)
- volant d'inertie

C'est la première solution qui a été choisie pour le véhicule dont il est fait état ici et dont la principale originalité est d'utiliser des batteries cadmium-Nickel de type aviation.



Ce choix de batterie a une double raison :

- La forte puissance massique de ces batteries permet leur recharge rapide pendant que le véhicule circule en mode trolleybus. Si en exploitation les tronçons parcourus en mode trolleybus et en mode autonome se succèdent, l'autonomie du véhicule est virtuellement illimitée.
 - En dimensionnant les batteries de telle sorte qu'une partie seulement de leur énergie soit utilisée à chaque parcours en autonomie. La durée de vie des batteries est considérablement augmentée. La courbe de la figure 1 montre cette évolution de la durée de vie en fonction de la profondeur de décharge.
- La valeur retenue pour la profondeur de décharge est de 20 %.

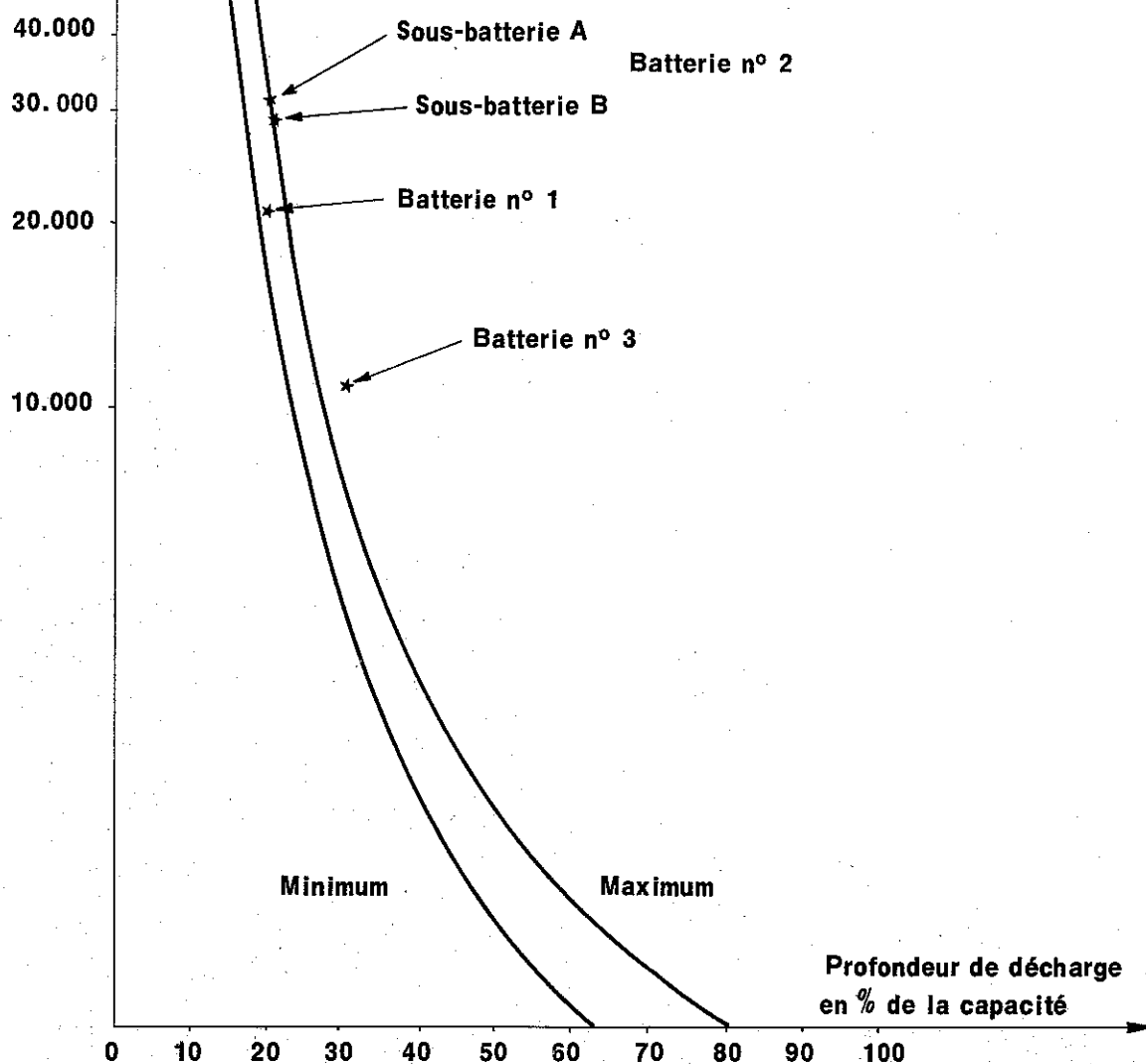
Nombre de
cycles (échelle
logarithmique)

1.000.000

FIGURE 1

ELEMENTS TYPES VO 35 KA

Durée de vie en cyclage en fonction de la profondeur
de décharge et résultats des essais au banc spécifiques
au programme bi-mode



Le véhicule probatoire est un véhicule articulé réalisé sur base PR 100 dont seul l'essieu intermédiaire est moteur.



L'ensemble des équipements électriques ont pu être disposés dans le soubassement du véhicule tout en conservant les hauteurs de plancher du PR 100 (636 mm à l'avant, 730 mm à partir de l'essieu médian).

En particulier, les batteries (2,2 tonnes pour les éléments nus) sont disposées dans la remorque en six «travées» distinctes.

La commande du moteur est assurée par un hacheur élévateur multivernier 600 Hz qui contrôle également la charge des batteries. Quand le véhicule est sous ligne, une puissance appelée constante est fournie à la fois au moteur et aux batteries. Au démarrage, toute la puissance est consommée par le moteur alors que dans les phases à vitesse constante ou à l'arrêt, la plus grande part de cette puissance sert à recharger les batteries. Le hacheur élévateur permet aux batteries de récupérer jusqu'à l'arrêt l'énergie de freinage du véhicule.

2 - CARACTERISTIQUES DU VEHICULE

Après une période de mise au point en usine durant laquelle l'ensemble des mesures de performances ont été réalisées, le véhicule a été mis en circulation sur le réseau TCL de Lyon où il a subi deux mois d'exploitation simulée. Des itinéraires variés et des charges différentes ont été choisis afin de connaître le comportement du véhicule dans l'ensemble des conditions de circulation auxquelles il peut être confronté.

Les performances du véhicule présentées dans le tableau ci-après sont conformes au cahier des charges.

TABLEAU DES PERFORMANCES A PLEINE CHARGE (27,3 t)

	Captage avec charge batterie	Captage sans charge batterie	Autonomie
(- de 0 à 15 km/h	3 s	3 s	3 s
Temps de montée (- de 0 à 30 km/h	7,4 s	7,4 s	8,2 s
en vitesse (1) (- de 0 à 40 km/h	18,7 s	12,5 s	23,2 s
(- 200 m départ arrêté	24,2 s	24,2 s	26,5 s
(- accélération au démarrage	1,37 m/s ²	1,37 m/s ²	1,37 m/s ²
Jerk	< 0,9 m/s ³	< 0,9 m/s ³	< 0,9 m/s ³
Ralentisseur électrique (2) sur batterie	0,4 m/s ²	0,4 m/s ²	0,4 m/s ²
sur résistance	0,43 m/s ²	0,43 m/s ²	0,43 m/s ²
Vitesse maximum (3)	> 55 km/h	> 55 km/h	56 km/h
Vitesse sur pente de 4 %	24 km/h	(4)	(4)
12 %	14 km/h	(4)	(4)

(1) Dans tous les cas, il se passe 0,5 s entre l'instant où l'on appuie sur la pédale et le décollage du véhicule. Les accélérations sont comptées à partir du décollage du véhicule.

(2) Obtenu à partir d'une vitesse supérieure à 20 km/h, en relachant la pédale d'accélération sans actionner la pédale de frein. En dessous de 7 km/h, cette décélération disparaît.

(3) La configuration de la piste d'essais RVI n'a pas permis de dépasser cette vitesse.

(4) Non mesuré. Les valeurs sont du même ordre de grandeur qu'en captage avec charge batterie.

On constate en particulier que les performances sur batterie sont comparables à celles observées en captage. Ceci est rendu possible par la puissance massique élevée des batteries : le courant de démarrage, donc le couple de démarrage est le même dans les deux modes. En revanche la tension batterie était nécessairement plus faible que la tension ligne, les performances en mode autonome accusent un léger recul par rapport au mode trolley au-delà de 20 km/h,

Les mesures de consommation (voir tableau ci-après) conduisent à des valeurs inférieures à celles généralement obtenues par les trolleybus classiques. Ceci est dû à l'excellent taux de récupération et au bon rendement énergétique des batteries.

TABLEAU DES CONSOMMATIONS (1)

	80 % de charge (véhicule à 20,7 t)		100 % de charge (véhicule à 27,3 t)	
	en KWh/ Km	en KWh/ t/ Km	en KWh/ Km	en KWh/ t/ Km
En autonomie (sortie batterie)	2,28	0,11	2,79	0,10
En captage (aux perches) (2)				
. avec charge batterie	4,46	0,22	5,18	0,19
. sans charge batterie	2,28	0,11	2,89	0,11
Globale (8)	2,7	0,13	3,3	0,12

(1) Ces valeurs représentent la consommation du véhicule, auxiliaires compris - chauffage excepté.

(2) Energie absorbée à la ligne aérienne divisée par le kilométrage de ligne correspondant (valeur utile au dimensionnement des sous-stations).

(8) Energie globale absorbée à la ligne aérienne divisée par le nombre total de kilomètres parcourus (pourcentage moyen d'autonomie : 80 %).

La valeur moyenne sur les deux mois d'essais durant lesquels la marche en autonomie a été utilisé en moyenne sur 40 % des itinéraires est de 120 Wh/ t/ km. Cette valeur s'entend sans chauffage.

Les autonomies moyennes correspondant à une profondeur de décharge de 20 % ont été les suivantes :

- à 30 % de charge (20,4 t) : 6,2 kilomètres

- à 100 % de charge (27,3 t) : 4,8 kilomètres

Ces valeurs sont supérieures aux prévisions et satisfont la plus grande part des applications envisageables.

3 - BILAN DU VEHICULE PROBATOIRE

Le programme de développement du trolleybus bi-mode électrique a permis de démontrer la faisabilité technique d'une bi-modalité électrique.

On a pu avant tout confirmer la validité du choix des batteries au niveau de leurs performances :

- rapport masse batterie / distance d'autonomie satisfaisant dans les conditions d'utilisation prévue (20 % de profondeur de décharge);
- intégration correcte de ces batteries dans le soubassement de remorque et bonne répartition des masses;
- bonne tenue aux forts courants de recharge;
- performances dynamiques du véhicule sur batterie satisfaisantes.

On a également pu constater le bon fonctionnement du hacheur dans sa double fonction de commande du moteur et de recharge des batteries.

Dans ces conditions, on est en droit de considérer cette réalisation comme une réussite technique.

Il faut bien entendu évoquer les aspects économiques de ce produit.

Le bilan économique du bi-mode électrique est directement lié à la durée de vie des batteries dont le coût d'acquisition est élevé. La détermination de cette durée de vie a été étudiée par le cyclage au banc pendant deux ans de batteries homothétiques à celles du véhicule suivant un cycle représentatif de la marche d'un trolleybus.

Les résultats de ces mesures sont reportés dans la courbe de la figure 1 et confirment la courbe fournie à l'origine par le constructeur de batteries puisque le cap des 25.000 cycles, pour une profondeur de décharge de 20 %, a été dépassé.

Une étude économique récente dont les principaux résultats sont contenus dans les tableaux ci-après vise à comparer le trolleybus bi-mode électrique à ses principaux concurrents qui sont :

COUTS D'ACQUISITION ET DUREES D'AMORTISSEMENT
(en F. H.T. au 1-1-83)

	PR 180	PER 180 trolleybus	PER 180 bi-mode	ER 180 pré-série	ER 180 série
Véhicules					
Coût	1 MF	2,3 MF	2,3 MF	2 915 KF (1)	2 200 KF
Amortissement	9 ans	15 ans	15 ans	15 ans	15 ans
Batteries					
Coût				660 KF	480 KF
Amortissement				(2)	(2)
Lignes aériennes					
Coût		1 350 KF/ Km	1 500 KF/ Km	1 500 KF/ Km	1 500 KF/ Km
Amortissement		30 ans	30 ans	30 ans	30 ans
Sous-stations					
Coût		3 000 KF	4 500 KF	4 500 KF	4 500 KF
Amortissement		30 ans	30 ans	30 ans	30 ans
Matériel d'entretien batteries					
Coût				300 KF	150 KF
Amortissement				20 ans	20 ans

(1) Proposition R.V.I. de juin 82 actualisée

(2) Variable suivant l'utilisation

- l'autobus articulé PR 180 de RVI
- le trolleybus articulé
- et le trolleybus bi-mode thermique articulé PER 180 de RVI (*)
- le trolleybus bi-mode électrique articulé dans le cas d'une pré-série de 10 véhicules
- le trolleybus bi-mode électrique articulé ER 180 dans le cas d'une fabrication en série (100 véhicules)

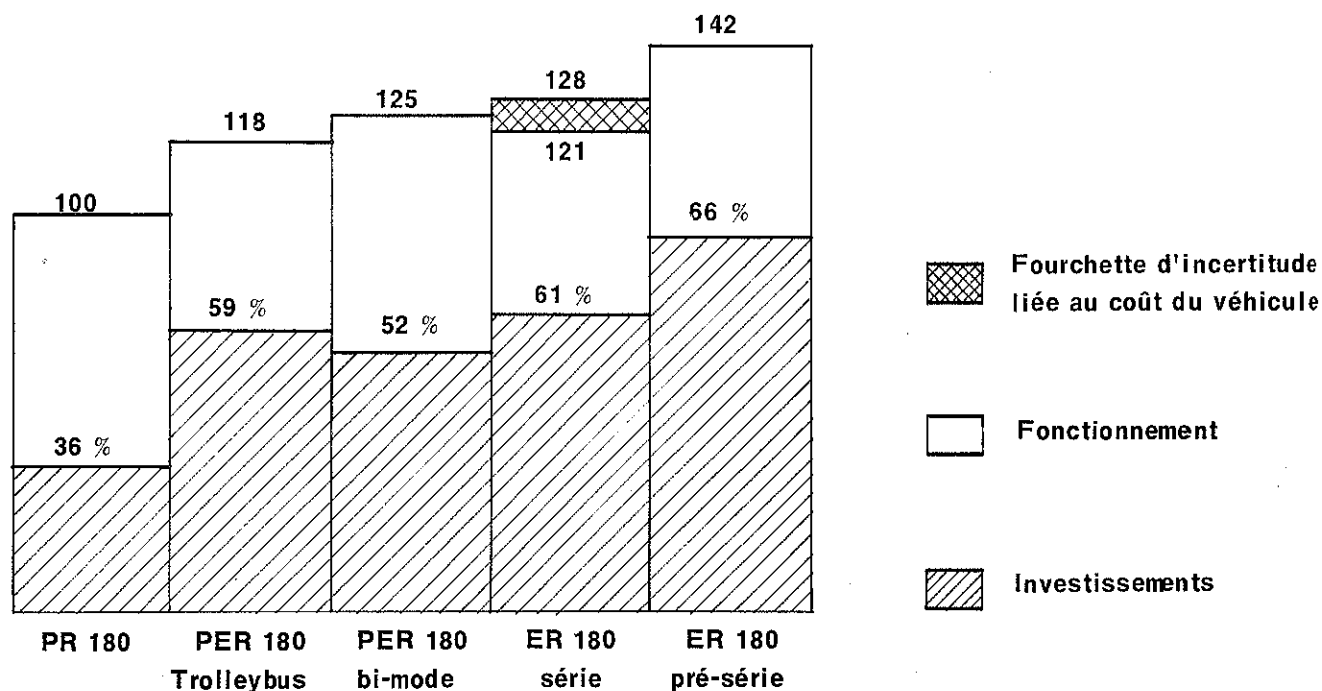
(*) Ce véhicule a été réalisé en 48 exemplaires à la demande de la ville de Nancy. Il s'agit d'un PR 180 auquel une chaîne électrique a été rajoutée : le moteur électrique transversal disposé sous les sièges attaque l'arbre de transmission par l'intermédiaire d'un renvoi d'angle.

COÛTS TECHNIQUES COMPARÉS DU VÉHICULE-KILOMETRE EN F/ VK H.T. AU 1-1-83

Coûts en F. H.T. janvier 1983	PR 180	PER 180 trolleybus	PER 180 bi-mode	ER 180 pré-série	ER 180 série
AMORTISSEMENTS					
Véhicule	2,41	3,38	3,33	4,22	3,18
Batteries	-	-	-	0,98	0,89
Lignes aériennes	-	0,98	0,71	0,71	0,71
Sous-stations	-	0,33	0,33	0,33	0,33
Chargeur dépôt	-	-	-	-	-
matériel entretien batteries	-	-	-	0,04	0,02
Sous-total Amortissements (Ecart base PR 180)	2,41 (100)	4,64 (192)	4,37 (181)	6,26 (260)	4,98 (205)
EXPLOITATION					
Entretien véhicule	1,20	1,15	1,40	1,0	1,0
Entretien lignes et sous-stations	-	0,40	0,30	0,30	0,30
Entretien batteries	-	-	-	0,07	0,04
Pièces détachées	0,6	0,5	0,6	0,45	0,45
Pneumatiques	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Lubrification	0,10	0,08	0,08	0,06	0,06
Gas-oil (8,70 F/1)	2,22	-	0,73	-	-
Electricité (81 C/kWh)	-	1,05	0,69	1,18	1,18
Sous-total Exploitation	4,27	3,38	4,00	3,21	3,18
TOTAL GENERAL (écart base PR 180)	6,68 (100)	7,85 (118)	8,37 (125)	9,4 (142)	8,11 (121)

Cette étude ne prend en compte que les dépenses liées aux matériels mis en oeuvre appelés «coûts techniques» (matériel roulant et installations fixes) à l'exclusion des dépenses communes à l'ensemble des systèmes (coût de personnel de conduite, frais généraux, etc...).

Les résultats sont résumés dans le schéma ci-après :



«COUTS TECHNIQUES» DES DIFFERENTES VARIANTES comparés à ceux de l'autobus (base 100)

On constate que à l'exclusion de la variante «ER 180 présérie» inévitablement plus onéreuse, que les écarts des «coûts techniques» entre les différentes variantes électriques sont peu significatifs et donc que malgré le coût élevé des batteries le bi-mode électrique se place très bien par rapport à ses concurrents électriques.

Il faut signaler que le surcoût d'environ 20 % des variantes électriques compte tenu du poids des autres charges, serait au moins divisé en deux dans le calcul du bilan global (tous postes de coûts pris en compte).

4 - PROLONGEMENT DU PROGRAMME

La réalisation d'une présérie d'une dizaine de véhicules qui correspond à l'équipement d'une ligne avait été envisagée comme suite logique du programme.

Des difficultés financières liées à un contexte industriel peu favorable font que la décision a été reportée.

Dans l'attente de cette décision, il n'en reste pas moins que les bons résultats acquis sur le véhicule probatoire justifient une poursuite de l'important effort fourni à ce jour par les Pouvoirs Publics et les industriels concernés.

Il est donc apparu indispensable dans un premier temps de conserver l'acquis technique d'une filière prometteuse et d'étudier les moyens qui permettront de limiter l'important écart des coûts d'acquisition de ce type de véhicule et de l'autobus (chaîne de traction électrique et batteries).

Bertrand DUPONT, Ingénieur de Recherche à la division Technologies Nouvelles

Documents I.R.T. liés à ce programme

- Etude bi-mode - Cas de Percheville
Mars 1977

- Le trolleybus bi-mode électrique - Synthèse des travaux et perspectives
Avril 1983

contribution à l'étude des systèmes d'aide à l'exploitation du point de vue de la vie et de l'organisation des entreprises

La diffusion toujours plus large que connaissent à l'heure actuelle les systèmes d'aide à l'exploitation dans l'industrie du transport collectif urbain témoigne de la nature et de l'ampleur du virage technologique qu'amorce ce secteur. L'avenir qui se dessine sera de plus en plus marqué sous le double signe de l'informatique et de l'automatisme.

Ce faisant, le changement technique qui s'opère participe d'un mouvement de transformation plus vaste qui affecte tant les organisations dans leur structure et leur mode de fonctionnement que les hommes dans leur devenir professionnel.

L'enjeu porté désormais sur la maîtrise des transformations qui sont à l'oeuvre. Il importe d'en éclairer les termes.

1 - LES SYSTEMES D'AIDE A L'EXPLOITATION: VERS UN CHANGEMENT TECHNIQUE ET ORGANISATIONNEL

Les éléments présentés dans cette contribution constituent les premiers résultats d'une action de recherche entreprise à l'I.R.T. sur le thème des systèmes d'aide à l'exploitation des réseaux d'autobus.

En complément des études techniques de ces systèmes, qui relèvent pleinement de chaque collectivité gestionnaire de ses transports, il a paru intéressant de se pencher sur les conséquences indirectes de l'introduction de ces techniques sur la vie et l'organisation des entreprises.

Plus qu'une simple technique de régulation, les systèmes d'aide à l'exploitation (SAE) par l'étendue des fonctions et activités de l'entreprise qu'ils facilitent, mais aussi par les formes spécifiques d'apprentissage qu'ils imposent aux agents de production du service, peuvent constituer l'occasion d'une transformation profonde de l'ensemble de l'entreprise.

Bien entendu, d'autres facteurs peuvent intervenir «en parallèle» pour transformer les données de l'exploitation. Chaque entreprise trouvera autour d'elle un ensemble particulier de facteurs d'évolution et il n'est pas possible d'écrire «une histoire» des transformations de l'entreprise à partir des rares cas observés.

Plus modestement, on peut suggérer à travers l'observation de ces cas quelques caractéristiques essentielles des modalités de fonctionnement de ces **systèmes appréhendés au niveau de l'exécution des tâches journalières qu'ils facilitent**, quelques caractéristiques du rôle effectif du régulateur et des attentes de l'ensemble des services de l'entreprise à son égard (2), des éléments de réflexion sur les transformations «types» que l'introduction des SAE pourra induire dans l'avenir (3).

2 - ROLES ET FONCTIONS DU SAE DANS L'ENTREPRISE

Le SAE constitue de fait le lieu privilégié de passage, traitement, accumulation d'informations essentielles pour la maîtrise et la connaissance de l'activité centrale de l'entreprise, et qui fait du poste de commande (PC) le lieu où l'on peut tout savoir d'un processus de production par nature éclaté et dispersé.

Tout ceci le désigne à la fois :

- comme un instrument d'analyse, d'aide à la conception ou de suivi : il offre son concours pour la définition du service à offrir, l'élaboration des plans de production, la mesure de la performance...
- mais aussi comme un lieu concret impliquant des hommes, mettant à l'oeuvre des tâches visibles, opérant à l'intérieur de circuits hiérarchiques et informatifs identifiables.

Ce faisant, le SAE «met en apprentissage» les hommes, les métiers, l'organisation elle-même. Cette double vocation, la nature et les effets de ces apprentissages trouvent leur expression la plus concrète dans l'acte d'utilisation de la phonie.

2-1 - Le cas d'un système fortement intégré

Nota : Les résultats suivants sont issus d'une étude en cours sur le réseau de la CTB. Ils ont été établis à partir d'observations systématiques de tous les échanges d'information transitant par le PC et peuvent être considérés en première approximation comme représentatifs de l'activité moyenne du PC sur une longue période.

2-1-1 - SAE et modalités de fonctionnement de l'entreprise

L'analyse des flux de communications transitant par le PC apporte quelques éclairages intéressants (cf. figure 1).

En particulier elle permet d'affirmer :

- **l'ampleur** de la fonction d'échange d'information

en moyenne : 1 échange par 3 mn

- **le rôle central** qu'occupe le SAE par rapport au fonctionnement de l'entreprise à l'intérieur de circuits de communications impliquant tous les services de l'entreprise, concernant la plupart des catégories professionnelles. Les échanges se répartissent comme suit :

60 % concernent les liaisons descendantes :

40 % concernent les liaisons ascendantes et horizontales :

Au niveau du PC, ce rôle se traduit à parts égales par une fonction de centralisation et de diffusion de l'information :

51 % de messages reçus :

49 % de messages émis :

- **le rôle différencié** du SAE selon les interlocuteurs du PC :

Les échanges, selon qu'ils sont plus ou moins équilibrés (émis/ reçus) témoignent des degrés de dépendance s'établissant autour du PC :

PC, lieu où l'on vient puiser de l'information ou auquel on transmet des consignes (cf. figure 2) concerne :

- les conducteurs : 53 % des messages reçus au PC

- les services intérieurs : 15 %
(opération, marketing ...)

- la cellule de maintenance
informatique : 11 %

- les contrôleurs : 11 %

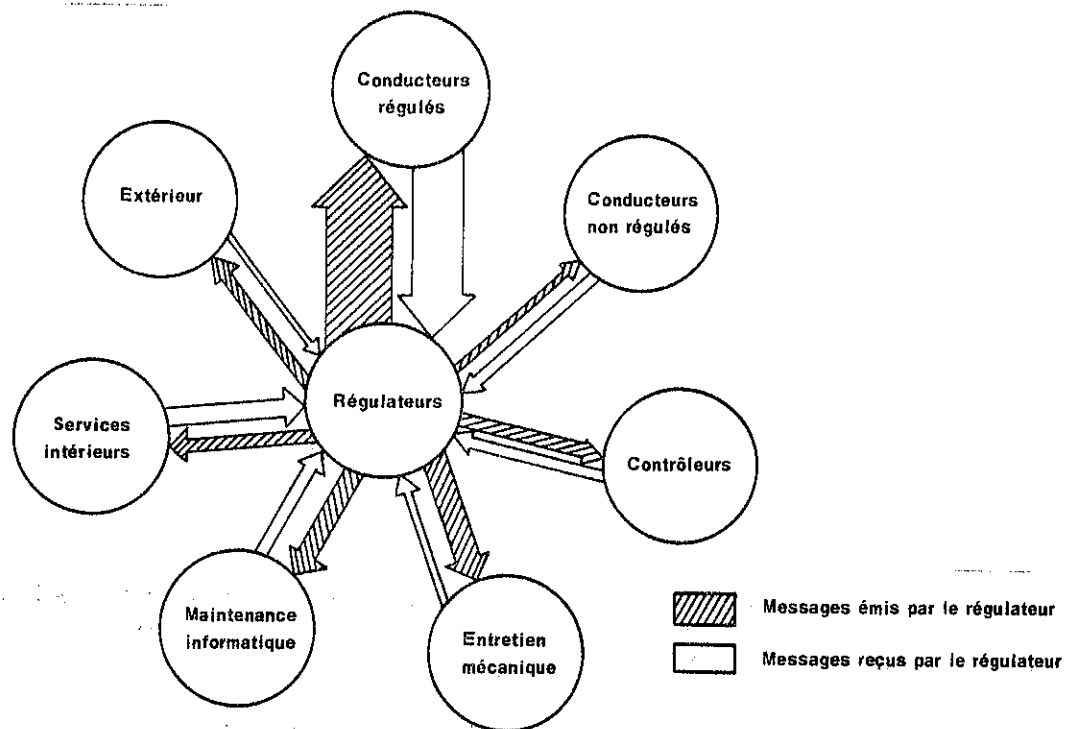


Figure n° 1 : Echanges d'informations entre le régulateur et les autres catégories

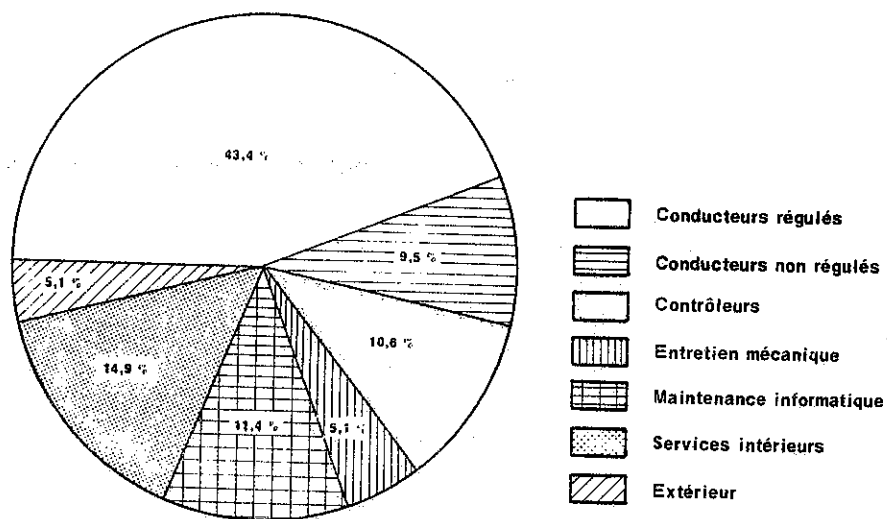


Figure n° 2 : Pourcentage des messages reçus par le régulateur de la part des autres catégories

2-2 - Le SAE : une réponse à des besoins variés

Ces résultats viennent en premier lieu illustrer la capacité du SAE à concrétiser, manifester ou renforcer l'émergence de nouveaux modes de fonctionnement, à partir du développement de la fonction communication ou bien la mise en oeuvre de formes originales de collaboration et de répartition des tâches pour la recherche d'une efficacité accrue de l'ensemble de l'entreprise.

A un autre niveau, ils mettent en évidence l'ordre des effets qui peuvent en être attendus sur le fonctionnement de l'organisation et qui puissent dans les modalités de fonctionnement complexes de l'outil lui-même.

Ces effets pouvant se traduire par l'émergence ou le renforcement d'un triple besoin, d'une triple structure :

- Une structure d'aide : Unaniment reconnue et valorisée comme participant à l'amélioration des conditions de travail (permettant la détection des temps trop tendus, la résolution d'incidents critiques...).
- Elle est d'autant plus valorisée que la tâche de surveillance du PC sera dissociée des tâches de sanction.
- Une structure d'information intercatégorielle, intersectorielle qui vient se renforcer à l'usage et peut participer d'un mouvement plus vaste d'apprentissage de la participation à la vie de l'entreprise.
- Une structure de communication interindividuelle (signifiant investissement humain, réseau de relation et de confiance...). Forme latente et spontanée associée à la structure d'aide; elle peut être amenée à jouer un rôle essentiel dans l'équilibration des rapports autour du système, c'est-à-dire dans la recherche d'un consensus autour de celui-ci.

2-3 - La phonie : un instrument de régulation sociale

Dans la pratique quotidienne, ces diverses « utilisations » viennent s'équilibrer mutuellement. A partir de là, on peut s'interroger sur l'incidence de l'équilibre des fonctions ainsi réalisées sur l'équilibre des rapports qui s'établissent autour du système, essentiellement dans la relation conducteur-régulateur et qui permet à chacun de trouver ses propres éléments de satisfaction en contrepartie des éléments vécus comme contraignants : ainsi, la structure de communication pourrait-elle être le lieu d'une certaine appropriation de l'outil par les conducteurs. C'est par elle que les conducteurs se sentent valorisés en tant qu'individus, que s'établit une certaine complicité entre conducteurs et régulateurs mettant l'un à la disposition de l'autre et vice-versa.

Dès lors, la maîtrise d'un tel système renvoie à la capacité à reconnaître ou valoriser l'émergence de ces besoins nouveaux, à apprécier à sa juste valeur la force de la liaison qui s'établit entre d'un côté le processus d'équilibration des rapports qui s'opère dans la relation conducteur-régulateur, de l'autre, le processus d'intégration de l'outil dans le tissu de l'entreprise.

Elle force à reconnaître la nature et la complexité du travail du régulateur due à la place importante que peut jouer la phonie dans l'acte de régulation, et qui finalement peut faire du régulateur un «**régulateur social**» autant que **technique**, le garant du bon fonctionnement autant que de l'insertion du système.

3 - SAE ET INCIDENCES SUR LA SITUATION PROFESSIONNELLE DU REGULATEUR

Ce rôle déterminant du régulateur vient puiser dans une combinaison complexe d'aptitudes techniques et humaines.

La complexité de ce rôle réside essentiellement dans le double clavier de commandement dont il dispose, rôle hiérarchique/ contact humain, et sa capacité à jouer de l'un ou l'autre registre selon les interlocuteurs et situations rencontrées. Ce double fonctionnement du régulateur traduit les savoir-faire à l'oeuvre : un **savoir-parler**, mettant en avant une capacité aux relations humaines et à leur introduction au sein de la relation de travail, un **savoir-commander** qui intervient en relais à la relation humaine lorsque celle-ci est défaillante.

Toutefois, ceci mérite d'être relativisé par l'examen des transformations qui peuvent affecter son poste et des difficultés que cela peut faire surgir.

3-1 - Evolution des tâches du régulateur

Le SAE, comme nombre de systèmes de surveillance automatisée à l'oeuvre dans d'autres secteurs, porte en germe un déplacement significatif des tâches (cf. paragraphe 2-1-2) caractérisé par une réduction des tâches à proprement dites de régulation technique jusqu'à un niveau plancher incompressible déterminé par les seuls dysfonctionnements qui ne peuvent être prévus. Ce phénomène ne fait que confirmer l'extériorisation progressive des tâches du régulateur aux considérations techniques qui prévalent lors de leur définition.

En contrepartie, il y a apparition de tâches de types différents, moins «techniques» (information, participation aux opérations de maintenance...).

Ceci atteste de l'ampleur du décalage qui peut être perçu entre les qualifications valorisées et requises pour accéder au poste et la réalité d'un nouveau type de travail dont le radio-téléphone serait le support.

Le risque est grand de voir ce phénomène associé à une perte de technicité du poste par référence à ce que l'on considère être le vrai travail du régulateur. Cela pose le problème de la valorisation des savoir-faire réellement à l'oeuvre, faute de quoi la fonction de communication pourrait apparaître vite démotivante et signe d'un appauvrissement du travail.

3-2 - Les limites de la spécialisation du régulateur

C'est essentiellement dans l'articulation contrôle de terrain/ contrôle en PCC que nous la situons.

Contrôleurs de terrain et régulateur travaillent tous deux sur le même objet mais avec des façons de voir distinctes : dans le premier cas, il s'agit d'une vision directe et qualitative, dans l'autre d'une vision médiatisée et quantitative. Ce décalage (entre connaissance et observation) peut déboucher chez le régulateur spécialisé sur une complexification de son travail due à une perte de contrôle du processus de production et de son environnement, à une difficulté à l'intérioriser qui peut faire obstacle à sa maîtrise.

Spécialisation ou polyvalence sont les deux termes de l'alternative qu'il convient d'examiner à la lueur de ce phénomène de désaffectation qui peut être exprimé par les régulateurs comme le risque d'une déqualification de leur travail.

Ce phénomène est à inscrire dans le mouvement plus général de mutation des rôles de la maîtrise qui peut accompagner la rationalisation et l'explicitation poussée de leurs tâches en particulier dans le cadre de l'extension des aides informatiques à l'exploitation.

Ces développements peuvent en effet signifier une dichotomie croissante entre tâches d'encadrement et tâches parcellisées (fraude, régulation, etc.) vidées de leurs contenus valorisants (relations hiérarchiques, savoir-faire technique, contact humain ...).

4 - LES LIMITES D'UNE VISION TECHNIQUE DU CHANGEMENT

Les diverses pistes de réflexion suggérées ci-dessus mettent en lumière le décalage qui peut exister entre, d'une part, une conception strictement instrumentale de l'outil (comme instrument de régulation technique de la production, instrument au service d'une réorganisation de l'entreprise ...) et, d'autre part, la réalité des situations que le SAE peut mettre à l'oeuvre dans des milieux concrets de production. Ce décalage peut s'exprimer à divers niveaux.

C'est la distance qui peut séparer la conception et la mise en oeuvre formelle du système (au niveau de la définition des fonctions du SAE, des tâches des régulateurs, des règles de gestion de cette catégorie ...) de la réalité des situations de travail nouvelles et variées qu'il peut con-

tribuer à faire émerger : mise à l'oeuvre de nouveaux types de rapports de travail, de savoir-faire et aptitudes qui échappent à la définition même de l'outil et qui opèrent à l'intérieur d'un processus d'équilibration permanente des rapports de force autour d'un système par nature aussi évolutif que fragile.

A un autre niveau, ce peut être la distance qui sépare une conception de l'outil comme instrument réorganisateur dans l'entreprise, permettant de dissocier liaisons fonctionnelles et hiérarchiques, pouvoirs et compétences, en vue de la mise en oeuvre de structures plus performantes et d'autre part, les représentations des rapports hiérarchiques et savoirs techniques qui sont réellement à l'oeuvre dans un milieu professionnel (conducteurs, contrôleurs) encore fortement marqué par le poids de son passé et de ses traditions ainsi que par des perspectives de carrières assez limitées.

REFERENCES

- Enquête sur l'utilisation du radio-téléphone dans les PCL de terminus
IRT - RATP, juin 1982
- Le poste de régulation de trafic d'autobus : analyse des communications, stratégies de résolution des problèmes
IRT - ADEACT - étude en cours
- Introduction de l'aide électronique à l'exploitation dans les réseaux de transports urbains de villes moyennes : approches psychosociologique et sociologique,
IRT - documents de travail
- Colloque «Travailleurs du transport et changements technologiques»
Versailles - juin 1982

RENCONTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS COLLECTIFS URBAINS ET REGIONAUX DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

L'IRT vient d'organiser les 27, 28 et 29 septembre derniers à l'UNESCO une Rencontre de Recherche internationale sur le thème des Transports collectifs urbains et régionaux dans les pays en développement.

Cette manifestation, qui a regroupé environ 130 participants (dont un tiers sont originaires du Tiers-Monde) était organisée parallèlement à la réunion du Comité Scientifique de la CODATU qui prépare la prochaine Conférence Mondiale sur les transports urbains dans les PVD prévue en janvier 1986 au Caire (l'ensemble bénéficiant d'une subvention du Ministère de la Coopération). Elle faisait suite aux précédentes Rencontres organisées par l'IRT : en juillet dernier sur la mobilité urbaine dans les PVD; en avril 81 pour le lancement de programmes de recherche dans ce domaine.

La première journée a été consacrée au thème des transports «informels» avec des analyses mettant en évidence la diversité des cas mais aussi des convergences dans les caractéristiques de fonctionnement de ces systèmes et dans les questions que leur observation pose. Plusieurs cas ont pu être analysés : Kinshasa, Tananarive, Brazzaville, Inde, Indonésie, Lima, au niveau urbain, et le Gabon au niveau régional.

Ensuite ce sont les transports plus classiques qui ont été considérés avec d'une part le thème du suivi des métros (interaction du métro du Caire avec le réseau de surface; évolution du métro léger de Tunis) et d'autre part un débat sur l'adaptation des méthodes de gestion des sociétés de transport public au contexte des pays en développement, débat qui a d'ailleurs montré l'écart des positions sur cette question.

Puis les débats se sont situés à un niveau plus institutionnel, posant le problème du type d'organisation et de formalisation des règles de fonctionnement du système de transport, avec les différents pôles de transport privé et transport public; sur la base notamment des cas de Quito et Guadalajara.

La dernière séance a tenté d'indiquer des articulations entre recherches et politique (cas du Mexique et d'Arequipa notamment), après un détour sur le problème clef du financement et de la crise économique (cas du Brésil).

Les objectifs de cette Rencontre ont été atteints : exposé et débat sur l'avancement de recherches menées en France ou dans d'autres pays; amorce de confrontations entre chercheurs et milieu professionnel. Cette confrontation s'avère donc possible et utile dans la mesure où des efforts suffisants de recherche sont poursuivis.

Un compte-rendu de cette Rencontre sera publié par l'IRT dans les prochains mois : textes des communications et synthèse des débats.

NOUVELLES BREVES

PARTICIPATION DE L'IRT AUX TRAVAUX DU GROUPE «STRATEGIE INDUSTRIELLE» DU PLAN

Le groupe de stratégie industrielle n° X du Commissariat Général du Plan a remis son rapport en juillet 1983. La partie intitulée «les industries des matériels de transport terrestre; promouvoir l'innovation technologique et sociale» a été adressé le 25 juillet 1983 par les présidents du groupe MM. DELPORT et PERRIN-PELLETIER à Mon-

sieur le Ministre de l'Industrie et de la Recherche. L'analyse des conditions de développement du secteur a fait l'objet d'une contribution active de l'IRT notamment des responsables de T.N. M. PASCAL et du CERNE (M. LAMURE qui était rapporteur du sous-groupe).

JOURNEE D'ETUDE «TRANSPORTS COLLECTIFS EN MILIEU RURAL»

Organisée par le Conseil Régional de la région Midi-Pyrénées et par la Fondation de France, avec la participation du ministère des Transports, du ministère de l'Agriculture et du Secrétariat d'Etat aux Personnes Agées, des journées d'étude se sont tenues les 5, 6 et 7 octobre 1983 à Ax-les-Thermes sur le thème : «les transports collectifs en milieu rural».

Deux chercheurs du Centre d'Economie et de Sociologie Appliquées de l'IRT, ont présenté à cette occasion une communication : Marie Antoinette DEKKERS a exposé les résultats d'une étude sur les expériences de mini-cars en France et à l'étranger; Alain TARRIUS a présenté les conclusions d'une recherche menée sur les relations entre convivialité et transport en milieu rural.

COLLOQUE «L'AUTONOMIE SOCIALE AUJOURD'HUI»

Le Centre d'étude des pratiques sociales (CEPS) de l'Université des Sciences Sociales de Grenoble et le centre de recherche sur l'épistémologie et l'autonomie (CREA), de l'Ecole Polytechnique organisaient, du 3 au 6 novembre à Saint Hugues

de Biviers près de Grenoble un colloque sur le thème : «l'autonomie sociale aujourd'hui».

Alain TARRIUS du CESA-IRT, y a présenté la contribution suivante : «autoproduction sociale et transport».

LA RECHERCHE DANS LES TRANSPORTS PUBLICS

Colloque UTP - 23, 24 et 25 janvier 1984

Plus de trente exploitants, professionnels du transport, représentants des pouvoirs publics, chercheurs, universitaires, économistes, sociologues et urbanistes interviendront lors du Colloque sur «la recherche dans les transports publics» organisé les 23 (soir), 24 et 25 janvier 1984 par l'Union des Transports Publics au Palais des Congrès (Porte Maillot).

Les communications se répartiront suivant quatre grandes filières :

- **«organisation de l'entreprise de transport public et efficacité»** : informatique et exploitation des réseaux, le potentiel humain, rapports sociaux et conditions de travail, service public et efficacité, les nouvelles organisations de l'exploitation, ...
- **«déplacements et société»** : sociologie de la mobilité, le transport public dans les zones faiblement peuplées, la fraude, vidéocommunication et mobilité, l'information de la clientèle, les usages des trans-

ports publics et la connaissance qualitative de leurs utilisateurs, ...

- **«véhicules et technologies»** : nouvelles orientations, les systèmes automatiques, le métro de l'an 2000; une table ronde est prévue avec les industriels, ...
- **«région et ville»** : les effets externes des transports collectifs, urbanisme et transports publics, normes minimales de service, ...

Une grande partie de ces travaux aura lieu en ateliers qui suivront chacun des quatre grands thèmes.

Le Ministère des Transports et le Ministère de l'Industrie et de la Recherche participeront à cette manifestation, dont les conclusions seront tirées le 25 janvier après-midi.

Travaux en langue française.

**Information : Union des Transports Publics,
Michel QUIDORT, Tél. : (1) 874-63-51**