

**MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT
ET DU LOGEMENT**

**Service des Affaires Économiques
et Internationales**

**rapport de synthèse
du VÉHICULE URBAIN**

mars 1969

Service des Affaires Economiques
et Internationales

NOTE de présentation de l'étude "Véhicule Urbain"

Devant les difficultés croissantes dues à la circulation et au stationnement en zone urbaine, des mesures urgentes s'imposent.

1°) On est obligé de constater que les véhicules actuels sont mal adaptés à la circulation urbaine :

- . Les enquêtes de circulation montrent que le taux d'occupation des véhicules peut être estimé à 1, 10 passager par véhicule pour les déplacements effectués pendant les heures de pointe, alors que la capacité des véhicules est de 4 à 5 voyageurs.
- . Alors que les véhicules peuvent atteindre des vitesses de l'ordre de 100 à 150 km/h, en zone urbaine. Cette vitesse se situe au-dessous de 60 km/h et dans la plupart des cas, elle tombe à 15 ou 20 km/h.
- . Enfin, les véhicules classiques dotés d'une autonomie de marche de 400 à 500 km dépassent rarement 50 km par jour en zone urbaine.

Par suite il devient nécessaire et urgent d'adapter le véhicule à la ville. Il semblait donc intéressant de savoir si l'on pouvait concevoir dans un délai de 15 ans un véhicule spécifiquement urbain.

Tel a été finalement l'objectif de l'étude présentée par cette note.

2°) Un modèle économique permet de déterminer l'efficacité collective du petit véhicule urbain. Les entrées du modèle sont respectivement,

- les coûts de construction et d'utilisation des différents types de véhicules en milieu urbain et non urbain ;
- les différences de coûts supportés par les véhicules classiques par suite des gênes apportées par le bruit, la pollution, la circulation et le parking.
- les kilométrages moyens annuels urbains et non urbains réalisés par les véhicules.
- les kilométrages réalisables ou non par un petit véhicule urbain.

Les sorties du modèle sont respectivement :

- les caractéristiques de la classe
- le nombre de véhicules retenus et éliminés
- les coûts moyens
- les avantages
- les avantages totaux

Les véhicules ont été répartis en 135 classes en fonction des critères suivants :

- le revenu annuel R du chef de ménage
- la situation du véhicule
- le motif d'utilisation
- le kilométrage annuel parcouru par le véhicule.

3°) Finalement, le véhicule urbain type qui se dégage de cette étude aurait les caractéristiques suivantes :

Nombre de places :	2
Poids à vide	350 kg
Rayon de braquage	3,5 kg ?
Accélération	0,25 à 0,30
Vitesse maximale	60 à 80 km/h
Capacité de braquage	150 litres ?

D'autre part, ce véhicule serait à propulsion électrique.

- le groupe moto propulseur comprendrait deux moteurs électriques à courant continu montés en série et ayant une vitesse de rotation maximale de 10.000 t par minute.
- le système de contrôle comprendrait :
 - . un type de commande en puissance
 - . un transformateur pour le système de commande
 - . un circuit électronique à thyristors pour le circuit de freinage
 - . un inverseur électromagnétique par l'inversion de marche.

La transmission moteurs-roues se ferait au moyen d'un réducteur.

- La source d'énergie comprendrait :
 - . une pile à moyenne température et à basse pression hydrocarbure d'une puissance de 3 kw
 - . des accumulateurs classiques au plomb d'une puissance de 9 kw.

Le coût d'un tel véhicule étant compris entre 5.000 F et 6.500 F, le marché d'un tel véhicule se situerait aux alentours de 25 à 30 % du marché actuel.

Bien entendu, un tel pourcentage suppose une réglementation et une organisation adéquates, en particulier la prise en compte des coûts et avantages collectifs.

4°) Cette étude nous a donc montré qu'un petit véhicule spécifiquement urbain est concevable dans un délai de 15 ans et que le marché potentiel de tels véhicules n'est pas négligeable.

Malgré ces résultats, il faut bien le dire assez inattendus (surtout en ce qui concerne le marché potentiel) qui semblent tout naturellement imposer ce type de véhicule, il convient d'être prudent.

En effet, la solution véhicule urbain ne doit pas être abordée seule, mais doit être étudiée dans le cadre d'une étude beaucoup plus générale sur les transports urbains.

Cette solution doit être considérée comme un moyen et non pas comme une fin en soi.

D'autre part, il ressort de cette étude que des objectifs à long terme doivent être pris dès à présent. Seul ce choix, décidera du succès ou de l'échec de ce nouveau moyen de transport.

SOMMAIRE -

- I - Introduction
- II - Le Modèle Economique
- III - L'Analyse Technologique

- 1 - Etude paramétrique des caractéristiques et des coûts des véhicules
 - 1-1 - Le véhicule sans bloc moteur
 - 1-1-1 - Caractéristique Générales
 - 1-1-2 - Prix de fabrication de la carrosserie
 - 1-2 - Les systèmes de propulsion et d'alimentation
 - 1-2-1 - Le moteur à explosion
 - 1-2-2 - Le moteur électrique
 - 1-2-2-1 - Solution retenue pour le moteur de propulsion
 - 1-2-2-2 - Solutions retenues pour la source d'énergie électrique
 - 1-2-2-3 - Bilan des prix
 - 1-3 - Le véhicule urbain à essence
 - 1-4 - Le véhicule urbain électrique

- IV - Etude sur les avantages collectifs
 - 1 - Détermination de p1 (gêne due au bruit)
 - 2 - Détermination de p2 (gêne due à la pollution atmosphérique)
 - 3 - Détermination de p3 (occupation de la chaussée par le stationnement)
 - 4 - Détermination de p4 (occupation de la chaussée par la circulation)
 - 5 - Conclusion

- V - L'Analyse des coûts
 - 1 - Coûts des différents véhicules
 - 2 - Coûts des différents véhicules y compris les pénalisations

- VI - Analyse de la Substitution
 - 1 - Généralités
 - 2 - Répartition des trajets en km urbains et km non urbains
 - 3 - Analyse des km substituables et non substituables sur une semaine
 - 4 - Analyse des km substituables et non substituables sur un an

VII - Résultats et prévisions du parc de petits véhicules urbains en 1985

- 1 - Généralités
- 2 - Résultats
- 3 - Prévisions en 1985

VIII - Conclusions générales

- 1 - L'étude psycho-sociologique
 - 2 - Conséquences de l'introduction du Petit Véhicule Urbain
 - 3 - Validité des résultats de l'Etude
 - 4 - Conclusion.
-

I - INTRODUCTION

Le problème posé est le suivant :

Peut-on concevoir dans un délai de 15 ans un véhicule spécifiquement urbain.

Si oui quels sont les actions de recherche les plus importantes à entreprendre, les conséquences à long terme sur l'urbanisme et le système des transports et enfin les mesures pratiques qui aideront à promouvoir ce nouveau mode.

Pour tenter de résoudre ce problème, une étude prospective à long terme a été lancée.

Cette étude peut se décomposer en 4 parties principales.

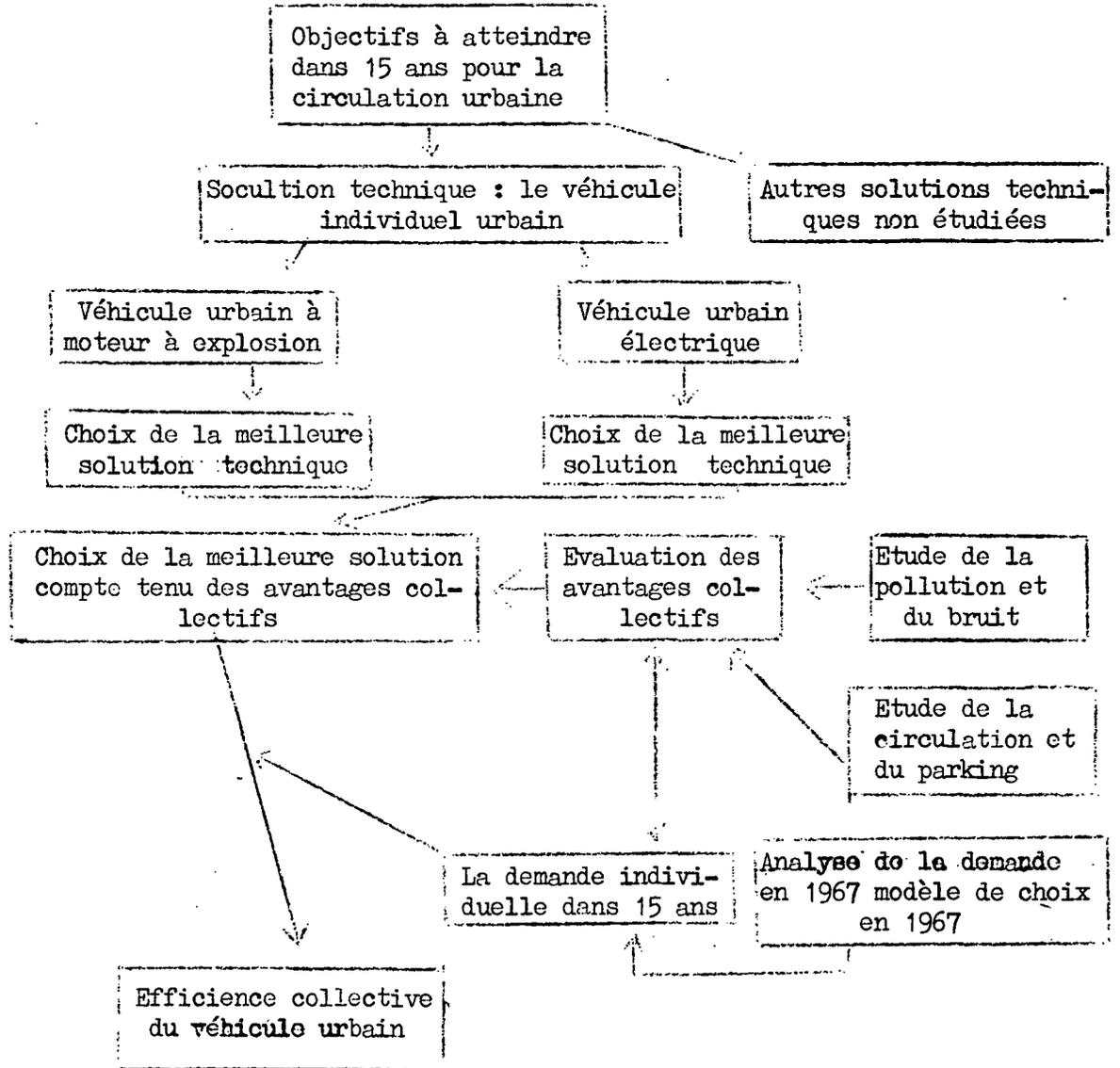
La 1ère relative à l'analyse technologique

La 2ème relative à l'étude des avantages collectifs

La 3ème relative à l'analyse de la substitution

La 4ème fait la synthèse des 3 précédentes au moyen d'un programme économique et permet de déterminer l'efficacité collective du petit véhicule urbain.

Nous résumons la méthodologie générale de l'étude par le schéma suivant :



Une telle étude a été confiée à différents organismes sous la responsabilité du S.A.E.I.

- 1°) La Régie Nationale des Usines Renault a été chargée de l'étude paramétrique du véhicule urbain, électrique ou à moteur à explosion (sauf moteur d'alimentation dans le cas du véhicule électrique)
- 2°) La G.E.S.P.A. de l'étude paramétrique du véhicule électrique urbain pour : moteur, alimentation, contrôle.
- 3°) Le B.C.E.O.M. des études suivantes :
 - Evaluation des nuisances (bruit, pollution)
 - Evaluation des avantages de circulation (en liaison avec le SERC)
 - Analyse de la substitution (en liaison avec l'INSEE)
 - Mise au point d'un modèle économique
- 4°) La Société E.S.O.P. d'une étude psychosociologique sur l'attitude des usagers vis-à-vis d'un éventuel véhicule urbain.
- 5°) Le S.A.E.I. outre la responsabilité générale de l'étude a été chargé de la synthèse.

II - Le Modèle économique - L'objectif de l'étude est de tester l'intérêt pour la collectivité d'un petit véhicule urbain.

Pour cela il existe 2 grands systèmes d'optimisation :

- a) L'optimisation à demande constante où il s'agit seulement de minimiser le coût collectif pour satisfaire une demande donnée.
- b) L'optimisation à demande variable où l'on introduit dans la fonction objective l'avantage des usagers à partir des relations entre demande et coût. Ces dernières relations étant d'ailleurs très difficiles à connaître, surtout si l'on veut aborder les valeurs collectives

Enfin, pour des raisons de simplicité, de coût et pour rester dans un cadre plus restreint, la 1ère solution a été choisie.

Par suite le modèle mis au point, consiste à minimiser le bilan de la collectivité de façon à satisfaire la demande de kilométrage urbain et non urbain.

Ainsi pour chacun des véhicules appartenant à une famille, on a admis que la collectivité avait intérêt à promouvoir l'achat d'un petit véhicule urbain si l'une des 3 solutions suivantes était préférable au statu quo (option III).

- | | |
|-------------------|---|
| <u>OPTION I</u> | remplacement du véhicule classique par un petit véhicule urbain (électrique ou non). |
| <u>OPTION II</u> | achat d'un petit véhicule urbain en plus du véhicule classique. |
| <u>OPTION III</u> | conservation du véhicule classique sans achat de petit véhicule urbain |
| <u>OPTION IV</u> | location d'un petit véhicule urbain pour les parcours urbains et conservation du véhicule classique pour les autres parcours. |

On est conduit à déterminer les 4 coûts économiques correspondants aux 4 options précédentes.

Pour simplifier les calculs on admet que les 4 fonctions de coûts collectifs annuels sont des fonctions linéaires des kilométrages annuels urbains et non urbains des véhicules.

On obtient :

$$C_4 = a + b \text{ NU} + b' (U - U^*) = g' U^*$$

$$C_1 = a + c + b (\text{NU} - \text{NU}^*) + b' (U - U^*) + d \text{NU}^* + d' U^*$$

$$C_2 = a + b \text{NU} + b' U$$

$$C_3 = c + f (\text{NU} - \text{NU}^*) - f' (U - U^*) + d \text{NU}^* + d' U^*$$

$$C_4 = a + b \text{NU} + b' (U - U^*) = g' U^*$$

où a, c sont les coûts fixes annuels des véhicules classiques et urbains.

b, b' sont les coûts kilométriques relatifs au véhicule classique.

d, d' sont les coûts kilométriques relatifs au petit véhicule urbain.

f est le coût kilométrique d'un véhicule classique loué.

f' est le coût kilométrique d'un taxi.

g' est le coût kilométrique d'un petit véhicule urbain loué en parcours urbain.

U le kilométrage annuel urbain total d'un véhicule.

U^* le kilométrage annuel urbain substituable (c'est-à-dire susceptible d'être effectué par un petit véhicule urbain).

NU le kilométrage annuel non urbain total.

NU^* le kilométrage annuel non urbain substituable.

Par suite ce modèle nécessite 3 études importantes :

La 1ère, relative à l'analyse technologique, déterminera les coûts de construction et d'utilisation des différents types de véhicules en milieu urbain et non urbain.

La 2ème, relative à l'estimation des avantages collectifs permettra de chiffrer les pénalités à imposer aux véhicules classiques pour tenir compte des coûts sociaux supplémentaires attribués à ces véhicules par suite des grèves occasionnées par le bruit et la pollution atmosphérique qui leur étaient imputables.

La 3ème, relative à l'analyse de la substitution, permettra :

- de connaître les kilométrages moyens annuels urbain U et non urbains NU

réalisés par les véhicules d'une classe déterminée du parc actuel.

- de séparer ces kilométrages en kilométrages réalisables ou non par un petit véhicule urbain compte tenu des contraintes sur le parcours total d'un déplacement pour certains types de petits véhicules électriques et le nombre de places offertes.

.../...

III - L'analyse technologique -

1 - Caractéristiques et coûts des véhicules -

L'objectif étant fixé dans un délai de 15 ans, une première analyse permet de dégager 2 solutions techniquement possibles, d'une part le véhicule urbain à moteur à explosion, d'autre part le véhicule urbain électrique.

Une étude paramétrique est menée parallèlement pour ces 2 solutions. Par suite cette 1ère phase nous permet de choisir le véhicule qui paraît le plus avantageux (coût total minimum).

1 - 1 - Le véhicule sans bloc moteur

Pour cette 1ère phase on a étudié la possibilité de réalisation, le coût de construction en fonction de la longueur de la série et le poids total en charge sans bloc moteur d'un véhicule de 2 places :

- disposant d'un coffre à bagages de x m³
- résistant sans dommages à des chocs raisonnables
- disposant d'un rayon de braquage très réduit
- de longueur réduite
- destiné à recevoir un bloc moteur de x kg et de x m³
- doté d'une manière générale des dispositifs qui suffisent pour la circulation en ville (pneus, suspension, etc ...)

Cette partie a été étudiée par la Régie Nationale des Usines Renault.

1-1-1 - Caractéristiques Générales

Nombre de places	: 2	
Poids à vide	: 350 kg	par comparaison avec l'Isetta et la Vespa 400 cette valeur a été retenue.
Rayon de braquage	: 3,5 m	Ce choix est pratiquement imposé par les dimensions du véhicule et des roues.
Accélération	: 0,25 à 0,39	Cette valeur correspond à celle de la R.4 qui a parut suffisante.
Vitesse maximale	: 60 à 80 km/h	Cette vitesse a parut suffisante pour un véhicule spécifiquement urbain.
Capacité de bagage	: 150 litres	Ce volume semble souhaitable pour que le véhicule soit pratique et puisse servir pour des achats.

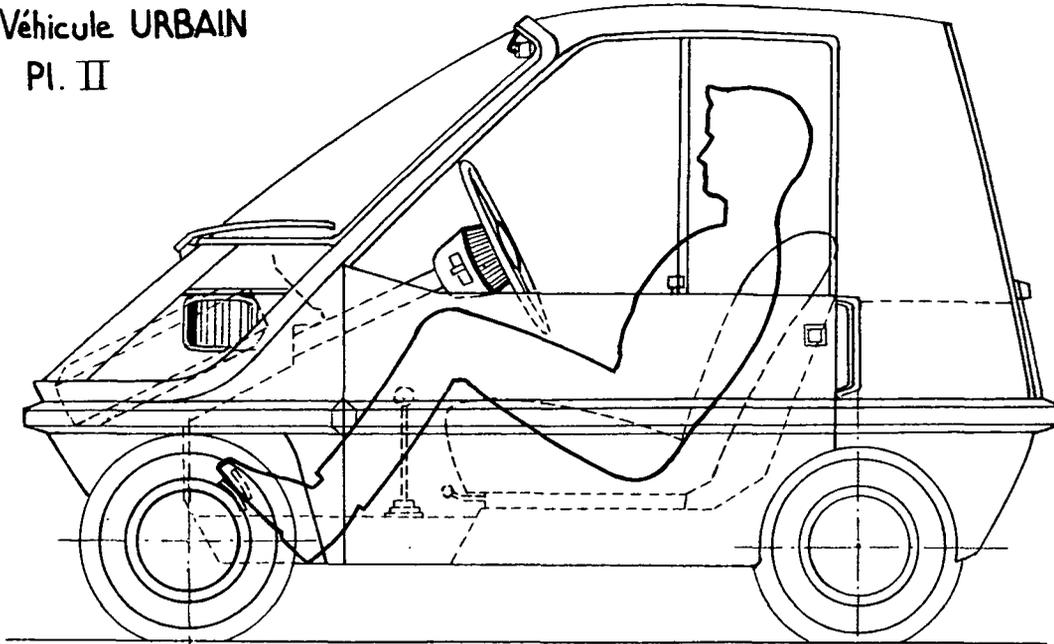
La figure ci-jointe donne d'autre part les principales dimensions de ce petit véhicule. Bien que ces dimensions soient imposées par des côtes d'habitabilité, elles doivent aussi être compatibles avec une bonne stabilité du véhicule.

En considérant les stabilités latérales et longitudinales on arrive aux conclusions suivantes :

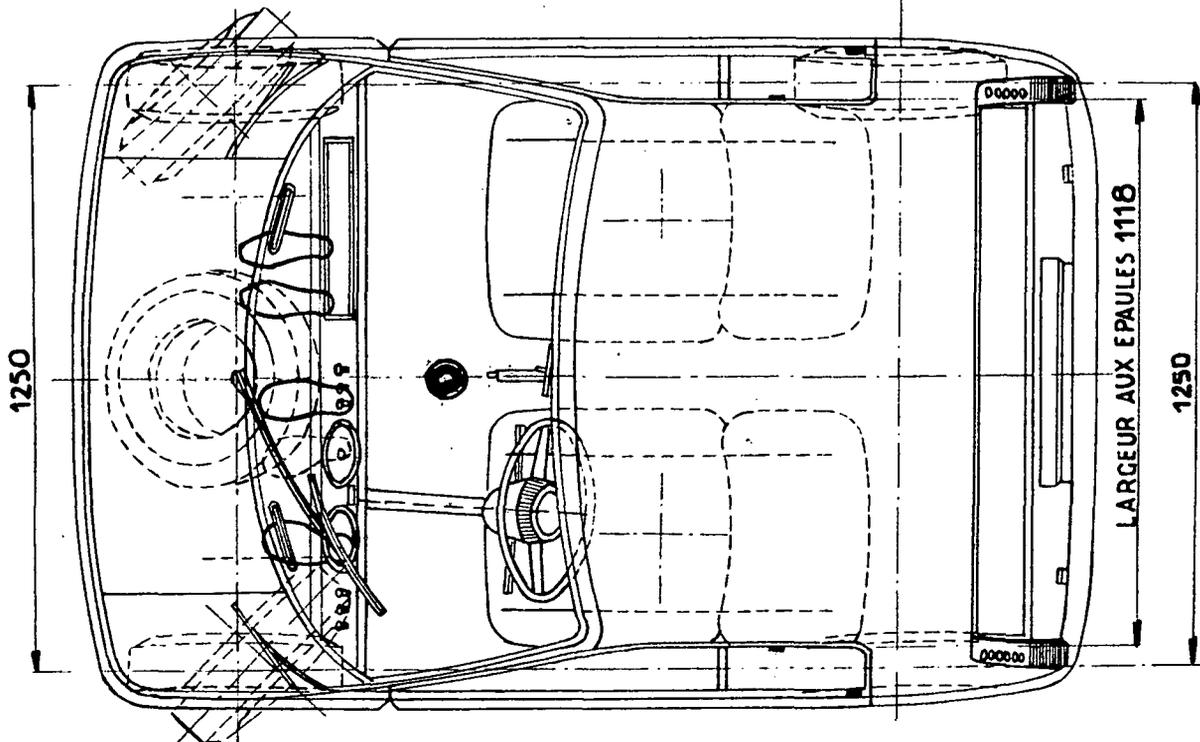
Un véhicule urbain à 4 roues a été préféré à un véhicule à 3 roues, ceci en raison de la stabilité latérale moindre de ce dernier. En effet un véhicule à 3 roues, ayant au niveau du centre de gravité une largeur de son polygone de sustentation moindre qu'un véhicule à 4 roues, est désavantagé de ce point de vue.

Le choix d'un véhicule à propulsion arrière a été retenu en raison de la condition de stabilité longitudinale (basculement ou freinage)!

Véhicule URBAIN
Pl. II



1390



1250

LARGEUR AUX EPAULES 1110

1250

Soit E l'empattement du véhicule

H la hauteur du centre de gravité au dessus du sol

K le pourcentage de poids porté par l'essieu arrière

On a la condition suivante :

$$H < K E$$

On s'aperçoit ainsi que plus le centre de gravité G est situé vers l'arrière du véhicule, plus il peut être placé haut, ce qui défavorise relativement les tractions avant.

Enfin, en raison de la valeur assez élevée du rapport H/E, une suspension spéciale devra être étudiée pour réduire les mouvements de caisse à l'accélération et au freinage.

1-1-2 - Prix de fabrication de la carrosserie

Les résultats ci-dessous sont donnés en prix client toutes taxes comprises, amortissement d'outillage et frais commerciaux inclus.

Carrosserie	2 540 F
Amortissement outillage	95 F
Chassis équipé	1 067 F
Prix total brut	3 702 F
Amortissement d'outillage - cadence 400 par jour sur 4 ans (350 000 véhicules)	266 F
Prix total client 1967 T.T.C.	3 968 F

1-2 - Les systèmes de propulsion et d'alimentation

1-2-1 - Le moteur à explosion

La Régie Nationale des Usines Renault a étudié la possibilité de réalisation, le coût de construction en fonction de la longueur de la série, le poids et l'encombrement. :

- d'un moteur à explosion permettant au véhicule précédemment décrit de rouler à une vitesse de x km/h, fournissant une accélération de x m/s², pouvant monter des côtes de x % à une vitesse de x km/h, doté de dispositif éliminant complètement ou presque le bruit et les déchets toxiques liés à la combustion.

Le moteur retenu sera un bicylindre refroidi par liquide, ce qui réduit le bruit et facilite le chauffage de l'habitacle, et aura les caractéristiques suivantes :

Poids	130 kg	} Par analogie avec la R.4 des raisons d'endurance et de souplesse en charge déterminent ce choix.
cylindrée	480 cc	
Puissance	14 à 15 CV à 4000 t/mn	
Couple maximum	3,5 m.kg à 2500 t/mn	

Ce moteur permet une vitesse de 60 km/h sur une pente de 6 %.

Des pentes de 25 % peuvent d'autre part être franchies. L'autonomie est de l'ordre de 350 km en zone urbaine.

Le prix du groupe moto-propulseur à essence est estimé à

1 532 F

1-2-2 - Le moteur électrique

La Société GESPA a étudié la possibilité de réalisation,

le coût de construction en fonction de la longueur de la série, le poids et l'encombrement :

- d'un ensemble moteur alimenté soit par accumulateur soit par piles à combustibles disposant des mêmes caractéristiques en vitesse et en accélération.

E.l.e. a aussi évalué la consommation en énergie de ce moteur ainsi que le coût de cette énergie.

Pour définir les caractéristiques que devra présenter le système de propulsion, il faut d'abord examiner les caractéristiques imposées aux véhicules, aussi bien les caractéristiques physiques que ses performances.

On cherche alors à satisfaire ces caractéristiques par des solutions techniques dont on évalue les coûts.

Le moteur de traction devra présenter une puissance nominale de 8 kW environ et devra fournir un rapport de couple égal à 8 en fonctionnant à sa puissance nominale.

De plus l'énergie à stocker pour une heure d'autonomie devra être égale à 3 kWh.

Ces données étant admises il reste à choisir le système de propulsion qui comprend :

- le ou les groupes moto-propulseurs
- le système de contrôle
- les dispositifs de transmission moteur-roues
- La source d'énergie

Pour cela nous représenterons l'enchaînement logique des travaux par le graphique suivant :

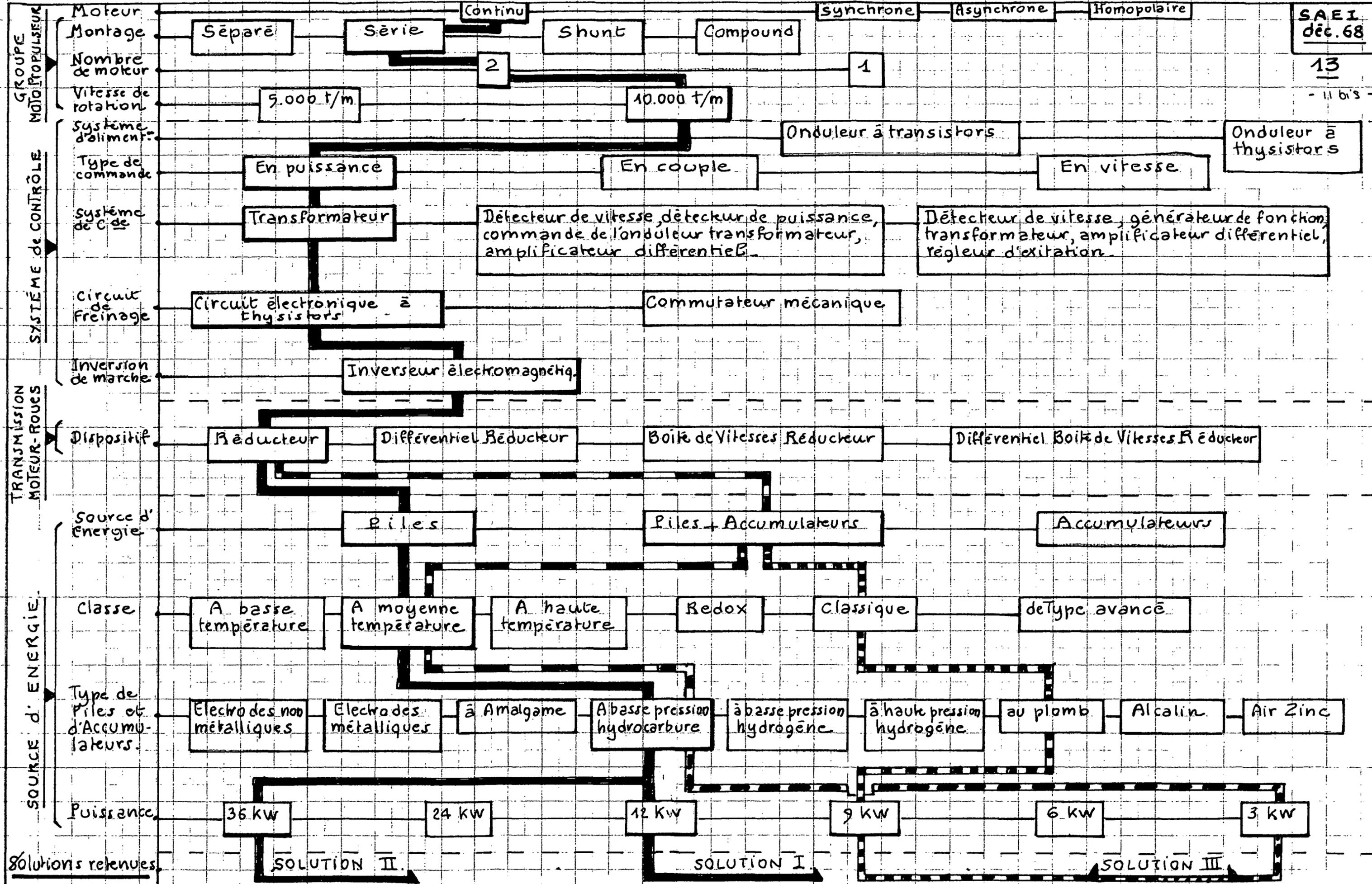
Parmi les solutions qui paraissent les plus judicieuses à plus ou moins long terme, celles dont il est actuellement possible d'évaluer les coûts ont été retenues.

L'étude comprend 3 parties principales :

- la 1ère traite de la conception électro-mécanique du propulseur
- La 2ème traite de la conception de la source d'alimentation en énergie électrique
- Enfin, la 3ème partie fait le bilan des prix.

L'objectif de cette étude est de définir les caractéristiques et les coûts des divers composants du système de propulsion du véhicule électrique.

.../...



SCHEMA du CHOIX des SYSTEMES

Mais auparavant il est nécessaire de connaître les principales caractéristiques de ce système.

Les caractéristiques du véhicule seront celles données par l'étude Renault. (Poids, accélération, vitesse etc...)

Le moteur de traction devra présenter une puissance nominale de 8 kW environ, pour obtenir 7,65 kW aux roues, ce qui correspond à un rendement de la transmission de 95 %. Il devra de plus fournir un rapport de couple égal à 8 en fonctionnant à sa puissance nominale.

En ce qui concerne la source d'énergie, la puissance nominale sera de 12 kW, ce qui correspond à un rendement global pour le moteur et sa commande de l'ordre de 67 %.

Enfin la puissance moyenne demandée à la source en ville sera de $\frac{12}{4} = 3$ kW. Ainsi l'énergie à stocker pour une heure d'autonomie sera égale à 3 kWh.

1-2-2-1 - Solution retenue pour le moteur de propulsion

L'ensemble moteur sera composé de 2 moteurs à courant continu série fournissant le rapport de couple 8 à la puissance maximale demandée, de vitesse de rotation nominale de 10 000 t/mn.

Un moteur à courant continu a été choisi bien que les moteurs à courant alternatif présentent l'avantage d'un poids et d'un volume plus faibles, pour une même puissance nominale ; par contre ils ont l'inconvénient de nécessiter un système d'alimentation plus complexe donc plus coûteux et plus encombrant, du fait de la transformation du courant continu en courant alternatif.

Le montage à excitation série du moteur à courant continu

a été préféré aux autres montages (excitation séparée, excitation shunt compound), car c'est celui qui présente le plus fort couple au démarrage.

D'autre part la solution 2 moteurs a été retenues car elle permet la suppression d'un différentiel, avantage qui compense largement le supplément de poids par rapport à la solution 1 seul moteur.

Enfin, les courbes de poids des moteurs indiquent clairement le gain de poids que l'on a en augmentant la vitesse de rotation.

Par suite la valeur de 10 000 t/mm semble assez bien appropriée.

La transmission comporte 2 réducteurs de vitesse dont le poids vaut 2 kg/kW et la densité 5. Le contrôle des moteurs est assuré par un système électronique, de poids 0,2 kg/kW et de volume 0,2 0,2 dm³/kW.

Nous résumerons donc les poids et volumes du propulseur retenu dans le tableau suivant :

	2 moteurs	2 réducteurs	Contrôle	Total
Poids	2 x 19 kg	2 x 8 kg	2 kg	56 kg
Volumes	2 x 3,8 dm ³	2 x 2 dm ³	2 dm ³	13,6 dm ³

1-2-2-2 - Solutions retenues pour la source d'énergie électrique

Trois solutions peuvent être envisagées pour la source d'énergie.

Solution 1) La source est constituée par une pile à combustible hydrocarbure/air de puissance 12 kW.

Solution 2) La source est constituée par une pile à combustible hydrocarbure/air de puissance 36 kW.

Solution 3) La source est hybride et comprend une pile à combustible hydrocarbure/air de puissance 3 kW et une batterie d'accumulateurs classiques de puissance 9 kW, soit au plomb, soit au cadmium.

Les poids et volumes totaux sont donnés dans les tableaux ci-dessous :

Autonomie:	Solution 1		Solution 2		Solution 3			
	Poids kg	Volume dm ³	Poids kg	Volume dm ³	Accus Pb		Accus Cd/Ni	
					Poids kg	Volume dm ³	Poids kg	Volume dm ³
0	60	30	156	78	100	48	42	21
5 h	62	32	158	80	102	51	45	24
10 h	64,5	34,5	160,2	82,2	105	54	48	27

Plusieurs critères ont permis de choisir la pile à combustible, hydrocarbure/air à électrolyte acide.

- C'est une pile à moyenne température et à basse pression ce qui permet le démarrage du véhicule dans un laps de temps acceptable.
- Elle évite l'emploi de grandes quantités de métaux rares et coûteux (emploi du niobium comme catalyseur à la place du platine).
- L'emploi de l'air est très avantageux pour les raisons de sécurité, de prix et de facilité de distribution.
- L'électrolyte acide est préférable à un électrolyte alcalin, car

dans ce dernier cas l'emploi de l'air nécessite l'adjonction d'épurateurs de gaz carbonique pour éviter la destruction progressive des électrodes par neutralisation de l'électrolyte et précipitation de carbonate dans les pores.

D'autre part une analyse des courbes de poids et volumes de différentes piles a permis là encore de sélectionner la pile à combustible hydrocarbure/air.

Ainsi en supposant que la pile directe hydrocarbure/air aura, vers 1985, une puissance massique équivalente à celle d'une pile H₂/air en 1970, cette analyse nous montre les avantages en poids et encombrement de la pile hydrocarbure/air future.

Enfin par rapport aux accumulateurs la pile hydrocarbure/air est plus avantageuse.

Ainsi, les courbes de poids nous indiquent qu'une pile hydrocarbure/air dimensionnée par une puissance 4 fois plus grande que la puissance moyenne demandée est plus avantageuse que tous les types d'accumulateurs lorsque l'autonomie dépasse 4 heures, excepté l'accumulateur Sodium-Soufre qui reste plus léger jusqu'à 10 h d'autonomie.

D'autre part pour une pile dimensionnée à 12 fois, l'avantage de poids est acquis lorsque l'autonomie dépasse 2 heures.

Ces mêmes courbes de poids indiquent que les accumulateurs de type avancé sont plus avantageux que les accumulateurs de type classique, mais ils ont l'inconvénient de n'être actuellement que des dispositifs de laboratoires, ce qui rend une estimation de leur prix impossible.

Par suite pour la solution 3) nous ne retiendrons que des accumulateurs de type classique, au plomb ou au cadmium, pour

lesquels nous prendrons les caractéristiques les meilleures que l'on escompte actuellement.

1-2-2-3 - Bilan des prix

Nous représenterons le bilan des prix pour les 3 solutions retenues par trois tableaux.

1) - Solution 1 - Pile seule de puissance nominale 12 kW

		Pile (12 kW)	Moteur (2 x 20 kg)	Contrôle	Total
Investissement	Minimum	1 200 F	200 F		1 600 F
	Moyen			200 F	
	Maximum	2 400 F	800 F		3 400 F
Maintenance Annuelle	Minimum	150 F			195 F
	Moyenne	300 F	20 F	25 F	345 F
	Maximum	600 F			645 F
Prix du km urbain					:0,62 centimes:
Prix du km non urbain					:0,62 centimes:

2) - Solution 2 - Pile seule de puissance nominale 36 kW

		Pile (36 kW)	Moteur (2 x 40 kg)	Contrôle	Total
Investissement	Minimum	3 600 F	200 F		4 000 F
	Moyen			200 F	
	Maximum	7 200 F	800 F		8 200 F
Maintenance Annuelle	Minimum	450 F			495 F
	Moyenne	900 F	20 F	25 F	945 F
	Maximum	1 800 F			1 845 F
Prix du km urbain					:0,57 centimes:
Prix du km non urbain					:0,54 centimes:

3) - Solution 3 - Pile de puissance nominale 3 kW avec des accumulateurs en tampon

		Pile (3 kW)	Accus (Pb)	Moteur (2 x 40 kg)	Contrôle	Total
Investissement:	Minimum	300 F	375 F	200 F		1 075 F
	Moyen				200 F	
	Maximum	600 F	900 F	800 F		2 500 F
Maintenance Annuelle	Minimum	37 F				82 F
	Moyenne	75 F		20 F	25 F	120 F
	Maximum	150 F				195 F
Prix du km urbain						:0,8 centimes
Prix du km non urbain						:0,62 centimes

1-3 - Le véhicule urbain à essence

Après ces études paramétriques relatives à la carrosserie et aux divers systèmes de propulsion nous pouvons avoir une estimation du prix de vente du petit véhicule urbain à essence.

Carrosserie	3 968 F
Moteur à essence	1 532 F
Total	5 500 F

Le coût d'entretien d'un tel véhicule est donné dans le tableau ci-après :

	Achat	KM	Mois	Amortissement	Garage	Assurances	Vignette	Carburant	Entretien	Pneus	TOTAL
2 CV Citroën	5 500	50.000	20	0,043	0,019	0,019	0,002	0,060	0,038	0,008	0,189
4 CV Renault	6 000	50.000	20	0,053	0,019	0,025	0,002	0,070	0,038	0,009	0,216
Voiture Urbaine	5 500	50.000	20	0,053	0,015	0,019	0,002	0,060	0,035	0,009	0,193

Comme pour le prix de vente, la part revenant au moteur à essence peut être retirée, soit 0,060 pour l'essence et 0,017 pour l'entretien.

En conclusion nous dirons qu'un petit véhicule urbain à essence pourrait être étudié dès à présent, mais le délai de réalisation normal serait de l'ordre de 5 ans.

D'autre part, il ne faut pas négliger l'importance de la cadence, des amortissements et du confort sur les prix. Ainsi si la cadence envisagée de 400 unités par jour passait à 200, le prix devrait être majoré d'environ 10 %.

1-4 -- Le véhicule urbain électrique

Comme précédemment nous allons donner une estimation de prix de vente du petit véhicule urbain électrique.

Ces estimations de prix seront comprises entre un minimum et un maximum.

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

	Solution 1 Pile 12 kW		Solution 2 Pile 36 kW		Solution 3 Pile (3 kW) + Accumulateurs	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Carrosserie	3968	3968	3968	3968	3968	3968
Système de Propulsion	1600	3400	4000	8200	1075	2500
Total	5568	7368	7968	12168	5043	6468

Soit P_1 le prix de la solution 1

Soit P_2 le prix de la solution 2

Soit P_3 le prix de la solution 3

On aura donc :

$$\begin{aligned} 5\ 568\ \text{F} &\leq P_1 \leq 7\ 368\ \text{F} \\ 7\ 968\ \text{F} &\leq P_2 \leq 12\ 168\ \text{F} \\ 5\ 043\ \text{F} &\leq P_3 \leq 6\ 468\ \text{F} \end{aligned}$$

On s'aperçoit ainsi que le petit véhicule urbain équipé d'une pile de puissance minimale 3 kW avec des accumulateurs à tampon est de loin la meilleure solution du point de vue coût.

Nous avons vu dans le coût d'entretien du petit véhicule urbain à essence que la part revenant au moteur à essence était de 0,060 pour l'essence et de 0,017 pour l'entretien.

Par suite le prix de revient kilométrique d'un véhicule électrique sera donc égal à $0,193 - 0,060 - 0,017 = 0,116\ \text{F}$ + le prix de revient kilométrique du groupe moto-propulseur électrique.

Comme pour le véhicule urbain à essence il ne faut pas négliger l'importance de la cadence, des amortissements et du confort sur les prix.

D'autre part, dans le cas de la solution 3, le nombre de kilomètres non urbains que l'on pourra parcourir sera limité par la capacité des accumulateurs.

Si c'est la capacité énergétique (en kWh) des accumulateurs ou décharge continue sous une puissance de 9 kW (pendant environ une durée d'1 heure) le nombre maximal de kilomètre non urbain est égal à :

$$\frac{c}{9} \times 80 \text{ soit } R = \frac{9}{c} \quad \text{la limite } L \text{ sera égale à } L = \frac{80}{R}$$

Les accumulateurs au plomb ont une capacité de 3 kWh et une puissance de 9 kW par suite la distance maximum qui sera atteinte sera égale à :

$$L = \frac{3}{9} \times 80 = 27 \text{ km}$$

.../...

IV - ETUDE SUR LES AVANTAGES COLLECTIFS -

Une telle étude a pour but de chiffrer la différence des coûts sociaux entre le véhicule classique et le petit véhicule urbain.

Pour cela 4 facteurs ont été pris en compte :

- le bruit
- la pollution atmosphérique
- les avantages de circulation (diminution du temps de parcours, plus grande sécurité, etc ...)
- les avantages en parking (moins de place occupée, plus grandes facilités de manoeuvre, etc ...)

Il est certain que, dans la mesure où l'on donne une grande importance au coût collectif consécutif à la gêne due au bruit et à la pollution, le petit véhicule urbain électrique devienne très intéressant.

On peut donc prévoir que les valeurs attribuées aux coûts de ces nuisances devraient être un élément décisif dans le choix de telle ou telle option. Par suite, il y a donc lieu d'estimer au mieux ces valeurs.

L'estimation chiffrée de la gêne apportée par le bruit et la pollution atmosphérique pourrait se faire dans une première approche en observant ce que les collectivités dépensent ou comptent dépenser pour

.../...

amener le bruit et la pollution à un niveau déterminé.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- On peut - réduire le trafic admissible dans les rues
- créer des écrans
- insonoriser les constructions
- modifier les véhicules

Mais bien entendu ces solutions sont de coûts différents, aussi il paraît normal de faire supporter à l'usager de la route, le coût minimum d'une de ces solutions.

D'autres avantages, du petit véhicule urbain sont aussi à prendre en compte.

En effet, l'introduction de petits véhicules urbains dans le trafic conduit à libérer des places de stationnement et à augmenter la capacité des rues.

Par suite dans les zones saturées, les avantages économiques doivent-ils être attribués au petit véhicule urbain.

De tels avantages seront mesurés par les coûts marginaux pour constituer de nouvelles places de stationnement ou de nouvelles capacités dans les rues.

Cette partie a été effectuée par le BCEOM et a conduit aux résultats suivants :

1 - Détermination de p_1 (gêne due au bruit)

Plusieurs hypothèses sont faites :

- Tout d'abord on ne considère que les rues où il passe plus de 600 véhicules par heure (seuil de débit horaire à partir duquel le bruit est supposé devenir gênant).
- On suppose aussi que la loi donnant la longueur des voies à équiper en fonction du pourcentage β de petits véhicules urbains en circulation est linéaire.

$$L = L_0 (1 - k\beta)$$

- Enfin on suppose que les petits véhicules urbains font des déplacements urbains analogues à ceux des véhicules classiques.

Dans ces conditions, la pénalisation à apporter par véhicule-km urbain effectué par un véhicule classique est de :

$$0,048 F < p_1 < 0,077 F$$

2 - Détermination de p_2 (gêne due à la pollution atmosphérique)

En supposant que le coût pour équiper un véhicule classique d'un système anti-polluant est de 50 F par an on obtient les 2 valeurs suivantes :

$$\text{pour les taxis} \quad p_2 = \frac{80}{40.000} = 0,002 \text{ F/km}$$

$$\text{pour les voitures particulières} \quad p_2 = \frac{50}{\bar{U}} \text{ F/km}$$

\bar{U} kilométrage urbain annuel moyen.

3 - Détermination de p_3 (occupation de la chaussée par le stationnement)

On suppose que le prix de revient d'un parking est compris

entre 1.500 et 2.500 F par an.

D'autre part le nombre de véhicules-km d'heure de pointe représente 12 % du nombre de véhicule-km quotidien.

Par suite la pénalisation moyenne à apporter à chaque véhicule-km est de :

$$0,024 \text{ F} < p_3 < 0,040 \text{ F}$$

4 - Détermination de p4 (occupation de la chaussée par la circulation)

Un tel coût social a été calculé en tenant compte du coût moyen annuel d'élargissement d'une voie de la chaussée en zone urbaine.

Une hypothèse a été faite en ce qui concerne le débit ; en effet il a été supposé que le débit aux points critiques est inversement proportionnel à la surface d'occupation à vitesse donnée.

La pénalisation p4 vaut donc :

$$0,022 \text{ F} < p_4 < 0,033 \text{ F}$$

5 - Conclusion

Cette phase de l'étude présente un intérêt tout particulier car elle nous permet d'apprécier l'ordre de grandeur de la pénalisation totale supportée par le véhicule classique.

Cette pénalisation est de l'ordre de la dizaine de centimes.

$$0,114 \text{ F} < p < 0,150 \text{ F}$$

Cette différence de coût social entre les deux types de véhicules peut avoir des conséquences importantes dans le développement du petit véhicule urbain.

.../...

Le but de cette synthèse est de déterminer les coefficients $a, c, b, b', d, d', f, f', g'$ à partir des résultats fournis par les études de Renault et de Gespa.

1 - Coûts des différents véhicules

Les coûts relatifs aux différents véhicules sont pris égaux à la somme d'un coût fixe et d'un coût proportionnel aux kilométrages urbains et non urbains parcourus par le véhicule. Ils sont calculés en valeur collective.

- on suppose pour cela que les petits véhicules urbains ont une durée de vie de 5 ans et qu'ils parcourent en moyenne 10.000 kilomètres par an;
- Le prix de la carrosserie est amorti en 5 ans, et au bout de cette période la valeur résiduelle est égale à la moitié de son prix d'achat.
- Tous les autres postes du coût sont calculés proportionnellement au kilométrage parcouru.

Les coûts du petit véhicule électrique sont identiques à ceux du petit véhicule à essence sauf en ce qui concerne le groupe moto-propulseur (Moteur, pile, batteries, appareils de contrôle).

Seuls les appareils de contrôle électronique sont à imputer en coût fixe annuel, car leur usure est indépendante du kilométrage parcouru.

D'autre part on suppose que le moteur a une durée de vie de 5.000 heures en parcours urbain et qu'il ne s'use pas en parcours non urbain.

Les autres éléments ont une durée de vie de 5 ans, par exemple les piles peuvent permettre des parcours urbains de 1.000 heures par an pendant 5ans à raison de 4 heures par jour, ce qui correspond à l'autonomie des piles.

Dans le cas de la solution III, on suppose que les batteries ont une durée de vie de 5 ans mais que leur usure est indépendante du fonctionnement. Par suite leur coût sera imputer sous forme de coût fixe annuel.

Nous résumerons les principaux résultats concernant les coûts des différents véhicules dans les 3 tableaux suivants.

Le tableau I donne les coûts en francs des petits véhicules urbains (essence, électrique).

Coûts	Petit véhicule urbain à essence	Petit véhicule urbain électrique					
		Solution I		Solution II		Solution III	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Coût fixe annuel	420	492	492	492	492	582	704
Coût kilométrique urbain	0,213	0,169	0,227	0,226	0,382	0,150	0,172
Coût kilométrique non urbain	0,127	0,103	0,152	0,159	0,306	0,081	0,093

Le tableau II
donne les coûts en francs du véhicule classique, du taxi et de la
voiture de location.

Coûts	Véhicule classique	Voiture de location	Taxi
Coût fixe annuel	640	-	-
Coût kilométrique urbain	0,221	-	0,629
Coût kilométrique non urbain	0,133	0,375	-

Le Tableau III
donne les coûts de location du petit véhicule urbain

	Véhicule à essence	Véhicule Electrique		
		Sol I	Sol II	Sol III
Coût Exploitation sans carburant	0,296	0,308 ± 0,033	0,437 ± 0,082	0,280 ± 0,022
Coût carburant	0,0334	0,010	0,010	0,014
Coût total	0,3294	0,318 ± 0,033	0,447 ± 0,082	0,294 ± 0,022
Majoration de location	0,060	0,060	0,060	0,060
Coût total de location	0,3894	0,378 ± 0,033	0,507 ± 0,082	0,354 ± 0,022

Pour calculer le coût de location d'un petit véhicule urbain on a été obligé de prendre pour référence le coût de location d'un véhicule classique.

Pour cela on calcule le coût de gestion au véhicule kilomètre d'une entreprise de location de véhicules classiques.

Ce coût est égal à la différence entre le coût de location d'un véhicule classique et le coût d'exploitation d'un véhicule classique utilisé dans les mêmes conditions.

On calcule alors le coût d'exploitation kilométrique d'un petit véhicule urbain utilisé dans les mêmes conditions qu'un véhicule classique loué et on majore ce coût du coût de gestion défini précédemment.

On obtient ainsi le coût kilométrique de location d'un véhicule urbain.

Ce calcul suppose que le coût de gestion d'une entreprise de location de véhicules classiques soit identique à celui d'une entreprise de location de petits véhicules urbains.

2 - Coûts des différents véhicules y compris les pénalisations

Les pénalisations p_1 , p_2 , p_3 et p_4 interviendront dans le cas des coûts kilométriques urbains.

Ainsi dans ce cas là le véhicule classique subira les pénalisations $p_1 + p_2 + p_3 + p_4$ le véhicule urbain à essence $p_1 + p_2$, le taxi $p_1 + p_2 + p_4$.

La voiture de location n'étant utilisée qu'en parcours non urbain, ne subira aucune pénalisation.

Finalement nous obtenons le tableau IV suivant qui nous détermine la valeur des coefficients en francs.

TABLEAU IV

	Coût fixe	Coût kilométrique non urbain	Coût kilométrique urbain
Véhicule classique	$a = 640$	$b = 0,142$	$b' = 0,351 + 50 \pm 0,018$ U
Véhicule loué		$f = 0,375$	
Taxi			$f' = 0,720 \pm 0,016$
Véhicule urbain à essence	$C_1 = 420$	$d_1 = 0,127$	$d'_1 = 0,275 + \frac{50}{U} \pm 0,015$
Véhicule urbain électrique			
Solution I	$C_I = 492$	$d_I = 0,127 \pm 0,024$	$d'_I = 0,198 \pm 0,029$
Solution II	$C_{II} = 492$	$d_{II} = 0,232 \pm 0,073$	$d'_{II} = 0,304 \pm 0,078$
Solution III	$C_{III} = 643$	$d_{III} = 0,087 + 0,006$	$d'_{III} = 0,161 \pm 0,011$
Véhicule loué Véhicule électrique	Véhicule urbain à essence		$g' = 0,485 \pm 0,015$
	Sol I		$g'_I = 0,378 \pm 0,033$
	Sol II		$g'_{II} = 0,507 \pm 0,082$
	Sol III		$g'_{III} = 0,354 \pm 0,022$

VI - ANALYSE DE LA SUBSTITUTION

1 - Généralités

En Octobre 1966, l'INSEE entreprenait une enquête sur les dépenses de transports des usagers. Elle pouvait fournir à l'intérieur de chaque ménage enquêté, les caractéristiques socio-économiques du ménage et l'analyse de l'ensemble des déplacements durant une semaine pour chaque véhicule appartenant au ménage si celui-ci était motorisé.

La cartothèque comprend 13 types de cartes différents.

Pour les besoins de notre étude, nous avons utilisé les cartes 10 et 13 de la cartothèque.

Les cartes de type 10 concernent "l'utilisation de la voiture" sur une année. Il y a une carte par voiture à la disposition d'un des ménages de l'échantillon.

Les cartes de type 13 concernent "les déplacements sur 7 jours". Il y a une carte par déplacement fait par l'une des voitures à la disposition d'un des ménages de l'échantillon.

L'exploitation de cette enquête a été faite en deux temps.

Dans un premier temps on a analysé les cartes 13 afin de déterminer pour chaque véhicule ayant plus d'un an d'âge, et sur la période d'une semaine d'enquête, le nombre de kilomètres urbains et non urbains substituables et non substituables.

Dans un deuxième temps on a analysé les cartes 10 qui comme nous l'avons vu indiquent les différents usages du véhicule sur une année.

Ces 2 étapes permettent de déterminer le nombre de kilomètres urbains et non urbains substituables pour chaque véhicule pendant un an.

Pour utiliser ces résultats dans notre calcul économique, il a été nécessaire de répartir les véhicules dans 135 classes en fonction des critères suivants :

a) Le revenu annuel R du chef de ménage

$R < 10.000F$
 $10.000 < R < 15.000$
 $15.000 < R < 20.000$
 $20.000 < R < 30.000$
 $R > 30.000F$

b) Situation du véhicule :

- Cas 1 Unique véhicule du ménage
- Cas 2 Véhicule principal d'un ménage possédant plus d'un véhicule automobile
- Cas 3 Véhicule secondaire d'un ménage possédant plus d'un véhicule automobile.

c) Motif d'utilisation :

- Motif 1 Trajet domicile / lieu de travail
- Motif 2 Autres déplacements professionnels
- Motif 3 Autre motif

d) Kilométrage annuel parcouru par le véhicule :

- Moins de 6.000 kms par an
- Entre 60.000 et 14.000 kms par an
- Plus de 14.000 kms par an

2 - Répartition des trajets en kilomètres urbains et kilomètres non urbains

Les renseignements fournis par l'INSEE sont de deux sortes.

- La taille de la commune de résidence.
 - . Moins de 50.000 habitants
 - . Entre 50.000 et 100.000 habitants
 - . Plus de 200.000 habitants
 - . Paris ou couronne urbaine
 - . Couronnesuburbaine de Paris ou zone d'attraction de Paris
- La situation des points d'origine et de destination des déplacements.
 - . Ils appartiennent à la commune de résidence.

. Ils n'appartiennent pas à la commune de résidence	}	Agglomération non situées dans la région parisienne	}	Communes rurales
		Agglomérations situées dans la région parisienne		Agglomérations moins de 50.000 habitants
				Plus de 50.000 habitants
				Paris ou couronne urbaine
				Couronne suburbaine ou zone d'attraction

Ainsi un déplacement est caractérisé par $36 \times 6 \times 6$ possibilités de comptes : origine/destination .

Avant de répartir les km, il est nécessaire de connaître le rayon de chaque unité urbaine. Pour cela l'utilisation des plans du Guide Michelin a été préféré à la méthode du rayon hydraulique appliquée aux superficies mentionnées par l'INSEE. Les résultats sont les suivants :

Villes de plus de 200 000 habitants	r = 4 km
entre 100 000 et 200 000 habitants	r = 2,0 km
entre 50 000 et 100 000 habitants	r = 1,2 km

Pour les villes de plus de 50 000 habitants, on a pondéré ces résultats avec les populations ainsi pour les villes de plus de 200 000 habitants il y a 6,1 millions d'habitants vivant dans ces villes.

de 100 000 à 200 000	3,2
de 50 000 à 100 000	2,9
Total	<u>12,2 millions d'habitants</u>

La moyenne pondérée des rayons des agglomérations pour l'ensemble de ces 3 catégories s'établit donc à :

$$\frac{6,1 \times 4 + 3,2 + 2,9 \times 1,2}{12,2} = 2,8 \text{ km}$$

Paris en couronne urbaine	r = 15,7 km
couronne suburbaine de Paris en zone d'attraction	r = 20,7 km

A chacune des possibilités de couples origine/destination est associée dans le modèle un parcours urbain probable qui est considéré comme une donnée à l'aide de tables de valeurs placée à priori.

Comme la longueur du trajet d'un déplacement est connue par ailleurs, on effectue un test pour vérifier que la longueur du trajet urbain donnée par la table n'exède pas la longueur totale du déplacement, sinon on prend cette longueur comme parcours urbain.

3. Analyse des km substituables et non substituables sur une semaine.

Les déplacements ont été regroupés en boucle domicile - domicile.

En effet le choix du domicile comme origine et comme destination de chaque boucle analysée correspond au fait que c'est la domicile qui constitue le plus souvent le lieu de garage du véhicule ou des véhicules du ménage.

Il a été admis que lorsqu'une de ces boucles était réalisée actuellement par un véhicule ordinaire, ce dernier pouvait être remplacé par un petit véhicule urbain, que par contre lorsqu'un seul des trajets constitutifs de la boucle n'était pas réalisable par un petit véhicule urbain, l'ensemble de la boucle ne pouvait être réalisée que par le véhicule ordinaire. (le changement de véhicule à partir d'un point quelconque de la boucle autre que le domicile étant exclu).

Dans le 1er cas la boucle domicile - domicile sera dite "substituable", dans le 2ème cas au contraire elle sera dite "non substituable". Pour faire cette analyse il faut aussi tenir compte des contraintes relatives au petit véhicule urbain qui sont de deux catégories :

- Une contrainte sur le nombre de places qui a été limité à deux pour tous les types de véhicules.
- Une contrainte sur la longueur maximum de parcours urbain ou non urbain qui a été limitée à 27 km pour le type 4.

Une fois déterminé le nombre de km urbains et non urbains de chaque couple, il est possible de déterminer si la boucle est substituable, c'est-à-dire si le nombre de personnes dans le véhicule est toujours égal ou inférieur à 2 et si le nombre de km non urbains de chaque déplacement n'excède pas 27 km.

On peut alors répartir le nombre de km réalisés dans une semaine en 4 catégories.

- urbains substituables u*
- urbains non substituables u
- non urbains substituables nu*
- non urbains, non substituables nu

4. Analyse des km substituables et non substituables sur un an

En plus des résultats précédents on connaît les kilométrages annuels totaux tous motifs KA et de vacances KV.

Pour un véhicule appartenant à une classe on aura les moyennes suivantes

$$\bar{u}, \bar{nu}, \bar{u}^*, \bar{nu}^*, \bar{KA} \text{ et } \bar{KV}$$

On calcule selon les kilométrages moyens annuels urbains et non urbains au moyen des relations suivantes :

$$\bar{U} = (\bar{KA} - \bar{KV}) \times \frac{\bar{u}}{\bar{u} + \bar{nu}}$$

$$\bar{U}^* = (\bar{KA} - \bar{KV}) \times \frac{\bar{u}^*}{\bar{u} + \bar{nu}}$$

$$\bar{NU} = (\bar{KA} - \bar{KV}) \times \frac{\bar{nu}}{\bar{u} + \bar{nu}} + \bar{KV}$$

$$\bar{NU}^* = (\bar{KA} - \bar{KV}) \times \frac{\bar{nu}^*}{\bar{u} + \bar{nu}}$$

VII RESULTATS ET PREVISION DU PARC DE PETITS VEHICULES URBAINS EN 1985

1) Généralités

Comme on l'a vu au chapitre II, le modèle économique permet de calculer les 4 fonctions de coûts C1, C2, C3 et C4.

De plus ce programme permet le calcul de ces 4 fonctions pour 3 hypothèses, basse, moyenne et haute. Ces hypothèses correspondent aux fourchettes de prix des coefficients déterminés dans l'analyse technologique.

Ainsi pour une hypothèse donnée et une classe donnée ce modèle nous permettra de définir la meilleure option et le type de véhicule urbain qui semble le mieux adapté aux caractéristiques de la demande de cette classe.

L'avantage économique moyen d'un véhicule sera la différence entre la fonction de coût C3 (statu quo) et la fonction de coût correspondante de ce véhicule.

L'avantage total d'une classe sera le produit de l'avantage moyen par le nombre de véhicules de cette classe.

La somme de tous les avantages totaux des différentes classes donnera l'avantage global de l'échantillon analysé.

De plus dans l'échantillon analysé, on connaît le nombre de fois où chaque option s'est avérée la meilleure et le nombre de fois où chaque type de petit véhicule urbain s'est avéré le meilleur.

Par suite, les résultats peuvent se présenter sans forme de pourcentage du parc actuel suivant l'option et le type de véhicule retenus.

2) Résultats

Au point de vue véhicule, les types qui sont apparus les plus intéressants sont :

- Le type 2 - Quand le véhicule classique est supprimé et remplacé par le petit véhicule urbain.
- Le type 4 - Dans les autres cas (conservation du véhicule classique pour les longs parcours ou location de véhicule).

Le petit véhicule urbain à essence a été éliminé en raison de son prix d'une part et d'autre part à cause des pénalisations dues au bruit et à la pollution.

Le petit véhicule urbain électrique de type 3 (pile de 36 kw) a été éliminé en raison de son prix.

7968F < P < 12.168F (Cf III- 1- 4)

Le choix entre les 2 autres types s'explique par le fait que lorsque le véhicule classique est supprimé le petit véhicule urbain de type 2 (pile 12 kw) est préféré au type 4 car il ne présente pas de contrainte de distance.

Dans les autres cas, le type 4 est préféré car c'est le véhicule le meilleur marché

5043F < P < 6468F (Cf III- 1- 4)

Au point de vue pourcentage du parc actuel les résultats de l'exploitation font apparaître l'intérêt très net de favoriser la construction de petits véhicules urbains.

En effet, en nous plaçant dans le cas de l'hypothèse moyenne, l'intérêt collectif exigerait :

- que 5% du parc actuel d'automobiles soit remplacé progressivement par de petits véhicules urbains électriques (type 2).
- qu'un nombre égal à 34% du parc actuel de véhicules classiques soit constitué en petits véhicules urbains électriques pour s'ajouter aux familles aux véhicules actuels (type 4).

Soit au total, 39% du parc actuel.

Dans ce cas, le gain mesuré en valeurs collectives serait de l'ordre de un milliard de francs par an pour l'ensemble de la France.

Dans le cas de l'hypothèse la plus défavorable aux petits véhicules urbains (limite inférieure de l'intervalle de confiance au 2/3 pour les pénalisations de coûts sociaux du véhicule actuel à essence et gain unitaire par véhicule supérieur à 100F/an pour l'option choisie). Le parc minimum de petits véhicules urbains serait encore de 25% du parc actuel.

Et dans ce cas, le gain annuel serait de 500 millions de francs.

Le choix d'une barre à 100F a été rendu nécessaire par le fait qu'un certain nombre de véhicules urbains étaient retenus alors que la différence de coût avec le statu quo était très minime dans certains cas de l'ordre de 2F. Un tel choix étant peu vraisemblable pour des différences de coût aussi faible nous avons décidé de retenir tous les véhicules qui entraîneraient une différence de coût supérieure ou égale à 100F.

Notons enfin que le modèle a fait apparaître un intérêt très net pour la location de petits véhicules urbains dans les villes.

Si ces chiffres paraissent excessifs , ils sont néanmoins tout à fait comparables au 30% estimés aux Etats Unis en 1967 par le Bureau of Power "Development of Electrically Powered Vehicles" et ce avec une approche tout à fait différente.

3 PREVISIONS EN 1985

On notera toutefois que les résultats qui précèdent ont été calculés à partir d'une demande actuelle et d'une évaluation prospective à 10 ou 15 ans de certains coûts de construction du petit véhicule urbain, en particulier ceux de la pile à combustible.

Comme la congestion ne peut que s'accroître dans les centres urbains les résultats qui précèdent devraient être interprétés comme une valeur plancher pour le parc de petits véhicules urbain à constituer dans un avenir relativement lointain d'une quinzaine d'années.

Supposons donc qu'en 1985, 40% du parc automobile soit constitué de petits véhicules urbains.

A cette date nous aurons 19 millions de véhicules.

Par suite, en 1985 il y aurait 7,6 millions de petits véhicules urbains.

Supposons d'autre part que ces petits véhicules soient mis sur le marché en 1970 et qu'ils aient une durée de vie de 5 ans.

Calculons la production annuelle de chaque année pour atteindre 7,6 millions en 1985.

Prévision du Parc de petits véhicules urbains de 1970 à 1985

1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
	500	900	1400	2000	2700	3500	4400	5400	6500	7700	9000	10400	11900	13500	15200
0	0	0	0	0	200	300	900	1400	2000	2700	3500	4400	5400	6500	7700
200	500	900	1400	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500

Unité en milliers

Plusieurs hypothèses peuvent être faites sur la production annuelle de ces véhicules urbains.

1) En 1970 une seule entreprise construit des véhicules urbains ce qui correspondrait à des séries de 560 véhicules/jour. Puis, peu à peu d'autres entreprises encouragées par les bons résultats se mettent à construire ce genre de véhicules. Finalement en 1985, les 4 plus grandes entreprises françaises construisaient des véhicules urbains, ce qui correspondrait à des séries de 1200 véhicules/jour.

2) Dans une deuxième hypothèse, on peut supposer que les 4 plus grandes entreprises françaises se mettent dès le début à construire ce type de véhicules.

En 1970 on aurait donc des séries de 140 véhicules/jour.

En 1974 on aurait 430 véhicules/jour.

On voit donc que dès 1974 le chiffre de 400 véhicules/jour serait déjà dépassé.

Cette deuxième hypothèse étant de loin la plus pessimiste au point de vue série annuelle, on peut donc dire qu'en moyenne les 400 véhicules/jour serait largement dépassés, ce qui aurait pour effet de diminuer notablement les prix de revient de ces petits véhicules urbains.

1) L'étude psycho-sociologique -

Après des résultats aussi optimistes, il serait intéressant de connaître l'avis des futurs usagers, pour cela nous relèverons les principales conclusions de l'étude Psycho-sociologique faite par la société ESOP.

L'objectif de cette enquête a été de définir quel serait l'accueil psychologique réservé à un véhicule urbain sensiblement plus réduit en taille que les petites voitures actuelles (FIAT 500, BMC 850) et fonctionnant éventuellement à l'électricité.

Parmi les principales conclusions on trouve :

- Le véhicule urbain doit être seul en ville ; la voiture classique doit être destinée à la route ;
- Des mesures d'autorité doivent être instituées en paliers progressifs ;
- Le véhicule urbain le plus séduisant et le plus pratique serait un véhicule style "auto-tamponneuse" recouverte toutefois d'un toit en plastique et protégée tout autour par un pare-choc en caoutchouc. Elle aurait une longueur de 2 mètres.

Dans ce véhicule il y aurait 2 places assises et à l'arrière la possibilité de mettre soit un enfant soit des colis.

Sa vitesse serait limitée entre 60 et 80 km.

D'autre part, le prix d'un tel véhicule ne devrait pas excéder 3.000 F.

On peut aussi envisager des services de location du style "Divers" ou "Carte Bleue" qui confèreraient à leurs adhérents la clé de contact permettant l'accès aux véhicules de la marque dont on serait le client. Il faut prendre ces résultats comme des indications globales.

Un sondage extensif est nécessaire pour indiquer avec une plus grande précision jusqu'où on peut aller pour imposer aux citoyens un véhicule urbain et surtout la fréquence des arguments à utiliser pour les convaincre de changer leurs habitudes.

2) Conséquences de l'introduction du petit véhicule urbaina) Incidence sur la consommation d'électricité

Il a été estimé qu'en 1960, la puissance disponible la nuit en France des centrales électriques étaient de l'ordre de 7 MM de kW, représentant pendant 9 heures, 63 MM de kWh, ce qui permettrait la charge à bas prix (4 centimes le kWh) de 1 Million de petits véhicules urbains électriques d'une puissance de 20 kW.

On voit ainsi que la généralisation de l'emploi de véhicules conduirait à une réduction des sous-emplois d'investissements lourds, qui préoccupent depuis longtemps les économistes de l'E.D.F.

b) Incidence sur la consommation d'essence -

En 1965 on a 10 Millions de véhicules classiques ce qui correspond à 10 MM de tonnes de carburant en considérant qu'un véhicule consomme 10 litres d'essence au 100 km de parcours et parcourt 10.000 km par an.

$$10 \text{ MM} \times 10.000 \times \frac{10}{100} = 10 \text{ MM} \times 1000 \text{ l} \\ = 10 \text{ MM de tonnes}$$

La production totale pour 1965 est de 55 MM de t ; soit

$$\frac{10}{55} = 18 \% \text{ de la consommation totale}$$

En 1985 il y aura 20 Millions de véhicules classiques mais 5 % soit 1 Million seront réemployés par des petits véhicules urbains soit :

$$\text{P.V.U} = 1 \text{ Million} \\ \text{V.C} = 19 \text{ Millions}$$

Puis on aura 34 % de petits véhicules urbains qui seront ajoutés aux véhicules classiques.

$$\frac{34 \times 19}{100} = 6,45 \text{ MM}$$

Soit un total V.C	19 M
P.V.U	7,46 M
	<hr/>
Total	26,46 MM

En 1985 la production totale de pétrole sera de 135 MM de tonnes.

L'introduction des petits véhicules urbains entraîne la disparition de 1 MM de véhicules classiques soit une consommation de 1 MM de tonnes ; ce qui correspond à $\frac{1}{135} = 14 \%$ de la production totale.

3) Validité des résultats de l'étude -

Depuis le début de l'étude, très peu de changements ont eu lieu aussi bien au point de vue technologique, qu'au point de vue coût.

Pour sa part RENAULT a estimé que ses prix étaient raisonnables mais que comparativement à ceux données par la GESPA, ils pourraient certainement être minorés.

Pour l'instant des véhicules en plastiques ne sont guères envisageables car d'une part ils seraient trop coûteux et d'autre part ils poseraient des problèmes délicats en ce qui concerne la sécurité.

En effet à ce point de vue 2 hypothèses sont à prendre en considération.

Si comme le souhaitent les futurs usagers (cf. enquête psychosociologique) le petit véhicule urbain doit être seul en ville alors la solution "plastique" est envisageable et présente certainement beaucoup d'intérêt.

Mais si l'introduction du petit véhicule urbain dans la circulation se fait sans supprimer celle des véhicules classiques alors se posent de nombreux problèmes de sécurité. Et en particulier, on devra prévoir dans ce cas une grosse protection latérale du petit véhicule urbain, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter considérablement le coût de tels véhicules.

Actuellement aucune étude n'est faite dans ce sens.

Si peu de changements sont intervenus du point de vue du véhicule, il en est de même en ce qui concerne les piles.

Il y a actuellement certaines controverses sur l'utilisation des hydrocarbures en combustion directe. Des problèmes de corrosion se posent et d'autre part elles ont une puissance massique faible.

Les Japonais ont construits des piles de 55 kWh/kg. Du point de vue accus, des études sérieuses existent et l'on pense obtenir 80 Wh/kg.

En ce qui concerne les prix donnés au début de l'étude, ils doivent être considérés comme raisonnables.

A l'heure actuelle il est encore trop difficile de mieux préciser.

Certainement qu'on y verra plus clair dans deux ou trois ans.

Le choix du moteur électrique à 10.000 t/mn ne pose pas de problèmes en ce qui concerne le bruit extérieur mais par contre provoque du bruit à l'intérieur du véhicule.

Pour le chauffage du véhicule, il sera certainement fait appel à un chauffage autonome indépendant du moteur. En effet cette solution semble préférable aux solutions actuelles car le moteur n'a pas le temps de chauffer en ville.

Ajoutons enfin qu'il aurait été certainement intéressant d'avoir une meilleure estimation chiffrée des avantages du petit véhicule urbain du point de vue fluidité de la circulation et nombre d'accidents.

En effet, il est possible qu'une circulation homogène constituée de petits véhicules urbains identiques ait pour conséquence de diminuer le nombre d'accidents.

4) Conclusions -

Si le petit véhicule urbain semble résoudre à lui seul un grand nombre de problèmes, il ne faut pas perdre de vue que c'est un problème beaucoup plus général qui doit être abordé.

En effet l'introduction d'un tel véhicule ne ferait que reculer de quelques années les difficultés que nous connaissons actuellement, (encombrement de la circulation, stationnement, etc ...). Il faut donc parallèlement à l'introduction de celui-ci repenser le problème des transports urbains dans son ensemble.

Car s'il présente un certain intérêt du point de vue économique, il pose néanmoins des problèmes très importants de réglementation et d'organisation.

Une étude effectuée en Angleterre a fait ressortir que l'introduction de ce type de véhicule conduisait à une augmentation assez faible du trafic (débit accru de 15 %) tant que des voies spéciales n'étaient pas réservées à ces véhicules.

On voit donc apparaître ici des problèmes de réglementation au niveau de l'infrastructure routière.

Outre ces problèmes posés par l'introduction d'un petit véhicule urbain, deux points importants ressortent de cette étude.

D'une part le problème de sources et d'autre part le problème de l'offre et de la demande.

Le premier point se situe au niveau technique et économique, mais ce n'est que dans 2 ou 3 ans que des études prospectives plus poussées pourraient être entreprises aussi bien en ce qui concerne la technologie que les coûts.

Le deuxième point se situerait plus au niveau économique et psychologique.

Si l'enquête effectuée à ce jour nous a donné des renseignements intéressants (par exemple que le petit véhicule urbain doit être seul en ville) c'est à une enquête beaucoup plus générale qu'il faudrait tendre ;

- générale du point de vue géographique (il ne faut pas se limiter à la seule région Parisienne) ;
- générale du point de vue catégorie socio-professionnelle (il ne faut pas se limiter aux catégories aisées) ;

- Et enfin, générale du point de vue Transport urbain, le cadre d'une telle enquête ne devrait pas seulement être axé sur le véhicule urbain mais devrait permettre de le replacer dans l'ensemble des transports urbains.

Il est certain qu'à partir d'une telle enquête de grands objectifs pourraient être dégagés.

Ces objectifs étant acceptés et fixés il serait alors possible dans le cadre de la programmation de la Recherche et en liaison avec la DGRST de les atteindre.

Considérons les résultats de l'enquête psychosociologique.

Un des objectifs dans 15 ans, pourrait être "le véhicule urbain doit être seul en ville" ; un tel objectif nous conduit à un véhicule bien particulier, aussi bien au point de vue carrosserie qu'au point de vue propulsion (électrique ou non), sans parler des problèmes de réglementation et d'organisation qui en découlent.

Mais si cet objectif devenait :

" Introduction d'un petit véhicule urbain dans la circulation actuelle" ;

dans ce cas nous serions conduit à un tout autre type de véhicule.

En particulier des études sérieuses devraient être entreprises sur la protection latérale de ces petits véhicules.

Ainsi pour que le véhicule urbain devienne un jour réalité, il est indispensable que des objectifs à long terme soient pris dès aujourd'hui.

Seule cette condition décidera du succès ou de l'échec de ce nouveau moyen de transport.